



UNIVERSIDAD DE LEÓN



DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA MINERA,  
TOPOGRÁFICA Y DE ESTRUCTURAS

MODIFICACIÓN Y ADAPTACIÓN DE LA  
METODOLOGÍA DEL VALOR GANADO A LOS  
PROYECTOS DE INSTALACIONES  
FERROVIARIAS DE ALTA VELOCIDAD

JOSÉ MANUEL FERNÁNDEZ DÍAZ

*León, Noviembre de 2015*





UNIVERSIDAD DE LEÓN



DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA MINERA,  
TOPOGRÁFICA Y DE ESTRUCTURAS

MODIFICACIÓN Y ADAPTACIÓN DE LA  
METODOLOGÍA DEL VALOR GANADO A LOS  
PROYECTOS DE INSTALACIONES  
FERROVIARIAS DE ALTA VELOCIDAD

Tesis presentada por

JOSÉ MANUEL FERNÁNDEZ DÍAZ

para la obtención del Título de Doctor por la Universidad de León

*Directores*

PROF. DR. JAIME CIFUENTES RODRÍGUEZ

PROF. DR. MANUEL CASTEJÓN LIMAS

*León, Noviembre de 2015*



# Agradecimientos

A mis padres, Ramón Ángel y Delfina, por su confianza en mí durante todos los años de estudio. Gracias por no dejar que el desánimo pudiera conmigo en esos momentos difíciles en los que parecía que todo se hundía.

A mi hermano, Ramón Ángel, por saber escucharme y por demostrarme su apoyo incondicional. Gracias por estar ahí en éste y en todos los momentos de mi vida.

A mis hermanas, Julia María y Camino, por quererme tal y como soy. Gracias por hacerme sentir como el hermano más querido del mundo.

A Mayte, por haberme dejado *robarle* su marido tantas tardes durante todos estos años...

A Javi, por haberme introducido en el mundo de la gestión de proyectos.

A mi amigo Jaime, por demostrarme en todo momento que estaba ahí para lo que necesitara, y que podía contar con él siempre, siempre y siempre.

A mis profesores del programa de doctorado en *Geología Ambiental y Aplicada: Recursos y Riesgos Geológicos* de la Escuela Superior y Técnica

de Ingenieros de Minas de León, a quienes les debo, en gran parte, que esto llegue a su fin.

A mis directores de tesis, Jaime Cifuentes y Manuel Castejón, por introducirme en el mundo de la investigación, y por su esfuerzo, cariño y comprensión.

Y, por supuesto, gracias a mi esposa, Ingrid, por su apoyo y amor sin límites.

# Resumen

Esta tesis aborda la modificación y adaptación de la metodología del valor ganado a los proyectos de instalaciones ferroviarias de alta velocidad. En el trabajo se presenta el método original del valor ganado (EVM), mostrando sus antecedentes, sus elementos básicos y los mecanismos de cálculo de índices de rendimiento útiles para la posterior interpretación del estado de desarrollo del proyecto tanto en costes como en plazos. Se propone una metodología que, a partir de las estructuras de descomposición del proyecto y de la organización, de una secuenciación de hitos, y de las fuentes de información disponibles, establece unos nuevos índices de rendimiento adecuados para la toma de decisiones de gestión. Su aplicación a un proyecto real confirma la validez y utilidad de la metodología propuesta. El método desarrollado aporta la flexibilidad necesaria para adaptarse satisfactoriamente a proyectos de naturaleza compleja.



# Abstract

This work proposes a modification of the earned value management methodology (EVM) to adapt it for high-speed railway facilities projects. First, it introduces the original methodology, presenting its origins, its basic elements, and the mechanisms for calculating performance indices that are suitable for an eventual interpretation of the development status of the project in terms of costs and schedule. A new methodology is proposed, based on the work and organization breakdown structures, a sequence of milestones and the information sources available, that establishes a new set of performance indices suitable for feeding decision making processes. Its application in a real project proves the validity and usefulness of the proposed methodology. The methodology developed provides the flexibility to satisfactorily be adapted for complex projects.



# Índice general

<b>1. Introducción y objetivos</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	3
<b>2. Gestión del valor ganado en control y planificación de proyectos</b>	<b>5</b>
2.1. Introducción . . . . .	5
2.2. Antecedentes de la metodología EVM . . . . .	7
2.3. Elementos básicos EVM . . . . .	9
2.3.1. Valor planificado y presupuesto de finalización . . . . .	10
2.3.2. Coste real . . . . .	10
2.3.3. Valor ganado . . . . .	12
2.4. Medición del rendimiento de un proyecto . . . . .	14
2.4.1. Diferencias de costes, planificación y tiempo . . . . .	14
2.4.2. Diferencias porcentuales de costes y planificación . . . . .	17
2.4.3. Índices de rendimiento . . . . .	18

---

2.4.4. Ratio crítico . . . . .	20
2.5. Estimaciones de costes y tiempos . . . . .	22
2.5.1. Estimación del coste final de ejecución . . . . .	24
2.5.2. Diferencia en el coste de ejecución . . . . .	28
2.5.3. Estimación del tiempo de finalización . . . . .	30
2.6. Estimación del porcentaje de trabajo completado . . . . .	35
2.7. Implementación del EVM . . . . .	38
<b>3. Metodología aplicada a proyectos de instalaciones de alta velocidad</b>	<b>41</b>
3.1. Introducción . . . . .	41
3.2. Estructura de descomposición del proyecto . . . . .	43
3.2.1. Sistemas de señalización . . . . .	44
3.2.2. Sistemas de protección al tren . . . . .	45
3.2.3. Sistemas de comunicaciones fijas . . . . .	49
3.2.4. Sistemas auxiliares de detección . . . . .	52
3.2.5. Sistema centralizado de control de tráfico . . . . .	56
3.2.6. Suministro de energía . . . . .	56
3.2.7. Edificios técnicos y casetas de señalización . . . . .	58
3.2.8. Sistema de telecomunicaciones móviles – GSM-R . . . . .	59
3.3. Estructura de descomposición de la organización . . . . .	60
3.3.1. Organigrama general . . . . .	61
3.3.2. Organigrama de control de tráfico . . . . .	63
3.3.3. Organigrama de telecomunicaciones fijas . . . . .	66

3.3.4.	Organigrama de telecomunicaciones móviles – GSM-R	68
3.4.	Secuenciación de hitos . . . . .	69
3.5.	Documentos para el control del proyecto . . . . .	74
3.5.1.	Presupuesto: ingresos/gastos . . . . .	77
3.5.2.	Diagrama de Gantt de tareas resumen . . . . .	77
3.5.3.	Tabla de hitos . . . . .	78
3.5.4.	Documento de seguimiento . . . . .	80
3.6.	Fuentes de información . . . . .	82
3.7.	Índices de rendimiento . . . . .	84
3.7.1.	Índice de rendimiento de la planificación estimado . . . . .	84
3.7.2.	Índice de rendimiento del coste basado en la planificación . . . . .	86
3.7.3.	Ratio crítico estimado . . . . .	87
3.8.	Toma de decisiones de gestión . . . . .	88
3.8.1.	Frecuencia de análisis del estado del proyecto . . . . .	88
3.8.2.	Acciones correctoras . . . . .	90
<b>4.</b>	<b>Estudio de caso real</b>	<b>95</b>
4.1.	Introducción . . . . .	95
4.2.	Estructura de descomposición del proyecto . . . . .	95
4.3.	Estructura de descomposición de la organización . . . . .	96
4.4.	Secuenciación de hitos . . . . .	97
4.5.	Documentos para el control del proyecto . . . . .	97
4.5.1.	Presupuesto: ingresos/gastos . . . . .	97

4.5.2.	Diagrama de Gantt de tareas resumen . . . . .	102
4.5.3.	Tabla de hitos . . . . .	102
4.5.4.	Documento de seguimiento . . . . .	106
4.6.	Fuentes de información . . . . .	107
4.7.	Índices de rendimiento . . . . .	107
4.8.	Toma de decisiones de gestión . . . . .	111
4.8.1.	Frecuencia de análisis del estado del proyecto . . . . .	111
4.8.2.	Acciones correctoras . . . . .	111
4.9.	Conclusiones del caso de estudio . . . . .	112
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y trabajo futuro</b>	<b>115</b>
5.1.	Conclusiones . . . . .	115
5.2.	Trabajo futuro . . . . .	116

# Índice de figuras

2.1. Curva S: Valor planificado y presupuesto de finalización . . . .	11
2.2. Valor planificado y coste real de terminación . . . . .	11
2.3. Ejemplo de esquema de descomposición de tareas de un pro- yecto y cálculo de valor ganado . . . . .	12
2.4. Variación de costes, de planificación y de tiempo . . . . .	16
2.5. Tendencia de las medidas de diferencias de costes, planifica- ción y tiempo . . . . .	17
2.6. Gráfico de tendencia de CPI y SPI . . . . .	20
2.7. Representación de la evolución del ratio crítico con el tiempo	22
2.8. Gráfico de semáforo del rendimiento de un proyecto . . . . .	23
2.9. Escenario 3. Gráfico de tendencia EAC . . . . .	29
2.10. Escenario 5. Gráfico de tendencia EAC . . . . .	29
2.11. Escenario 3. Gráfico TEAC. . . . .	35
2.12. Escenario 5. Gráfica TEAC . . . . .	36

---

3.1. Estructura de descomposición de un proyecto de instalaciones ferroviarias . . . . .	44
3.2. Diccionario EDP. Ficha del subproyecto de sistemas de señalización . . . . .	45
3.3. Diccionario EDP. Ficha del subproyecto de sistemas de protección del tren . . . . .	50
3.4. Diccionario EDP. Ficha del subproyecto de sistemas de comunicaciones fijas . . . . .	53
3.5. Diccionario EDP. Ficha del subproyecto de sistemas auxiliares de detección . . . . .	55
3.6. Diccionario EDP. Ficha del subproyecto CTC . . . . .	57
3.7. Diccionario EDP. Ficha del subproyecto de suministro de energía . . . . .	58
3.8. Diccionario EDP. Ficha del subproyecto de edificios técnicos . . . . .	59
3.9. Diccionario EDP. Ficha del subproyecto GSM-R . . . . .	60
3.10. EDO. Organigrama general . . . . .	64
3.11. EDO: señalización, CTC y detección . . . . .	65
3.12. EDO: Telecomunicaciones fijas . . . . .	67
3.13. EDO: GSM-R . . . . .	68
3.14. Grafo Roy representativo de las dependencias y de la secuenciación de los hitos del proyecto (sigue en la figura 3.15) . . . . .	75
3.15. Grafo Roy representativo de las dependencias y de la secuenciación de los hitos del proyecto (viene de la figura 3.14) . . . . .	76
3.16. Ejemplo de tabla de ingresos. . . . .	78
3.17. Ejemplo de diagrama de Gantt de tareas resumen . . . . .	79

---

3.18. Ejemplo de tabla de hitos relevantes y subproyectos . . . . .	80
3.19. Ejemplo de documento de seguimiento de obra. . . . .	81
4.1. Caso de estudio: EDO - organigrama general . . . . .	96
4.2. Caso de estudio: grafo Roy (sigue en la figura 4.3) . . . . .	98
4.3. Caso de estudio: grafo Roy (viene de la figura 4.2) . . . . .	99
4.4. Caso de estudio: tabla de ingresos . . . . .	100
4.5. Caso de estudio: tabla de gastos . . . . .	101
4.6. Caso de estudio: diagrama de Gantt de tareas resumen . . . . .	102
4.7. Caso de estudio: tabla de hitos de tareas resumen (sigue en la figura4.8) . . . . .	103
4.8. Caso de estudio: tabla de hitos de tareas resumen (viene de la figura 4.7, sigue en la figura 4.9) . . . . .	104
4.9. Caso de estudio: tabla de hitos de tareas resumen (viene de la figura 4.8) . . . . .	105
4.10. Caso de estudio: documento de seguimiento (continua en la figura 4.11) . . . . .	108
4.11. Caso de estudio: documento de seguimiento (viene de la figura 4.10) . . . . .	109
4.12. Caso de estudio: tabla de estimadores . . . . .	110
4.13. Caso de estudio: tabla de índices de rendimiento . . . . .	110
4.14. Caso de estudio: gráfico resumen de avance de obra . . . . .	110



# Capítulo 1

## Introducción y objetivos

### 1.1. Introducción

Dentro del campo de la gestión de proyectos nos encontramos con la necesidad de realizar una planificación y un seguimiento de los trabajos. Esta labor no se limita a ejecutar una planificación inicialmente diseñada, sino que es un trabajo permanente que necesita de una revisión periódica desde el inicio hasta el fin de los trabajos, convirtiéndose en una herramienta de toma de decisiones, que dependiendo de la bondad del método permitirá conocer en todo momento el estado real de ejecución del proyecto y prever tanto el avance futuro como los posibles conflictos que puedan aparecer. La bondad de la planificación vendrá limitada por la calidad y la cantidad de información disponible. En este punto aparece uno de los mayores condicionantes a la hora de planificar obras de construcción del mundo ferroviario y, más concretamente, en lo referente a la planificación de sus instalaciones en las obras de alta velocidad. Este tipo de

obras se caracteriza porque los trabajos se encuentran distribuidos a lo largo de parte o de toda la longitud de la vía, lo que equivale, en la práctica, a varios cientos de kilómetros. Esta característica hace que no sea factible recorrer por completo toda la traza de la obra con la frecuencia necesaria para poder aplicar técnicas estándar al conjunto del proyecto, lo que limita la cantidad y la calidad de la información disponible.

Los proyectos de instalaciones ferroviarias de alta velocidad están formados por diferentes subproyectos, todos ellos interrelacionados entre sí mediante hitos bloqueantes. Para que el proyecto completo pueda ejecutarse cumpliendo los objetivos de plazos y coste, es imprescindible realizar adecuadamente el control de seguimiento de cada uno de los subproyectos.

Habitualmente la planificación en proyectos ferroviarios se apoya en programas de gestión (MS Project, Primavera, etc.) y la toma de decisiones suele basarse en la metodología del valor ganado. Estos programas de gestión son adecuados para proyectos cuyos ciclos de vida son lineales y cuyas actividades sigan unos vínculos claramente definidos y con duraciones de los trabajos fáciles de estimar, situación que no se cumple en los específicos para instalaciones ferroviarias.

La elaboración de un nuevo plan de trabajos fiable tras los diferentes replanteos a obra conlleva varios meses de trabajo. Ese tiempo invertido en su realización retrasa el inicio real de los trabajos, haciendo imposible el cumplimiento de los plazos de entrega del proyecto. La consecuencia de todo ello es que se reducirá al máximo el tiempo dedicado a la planificación y como consecuencia de ello, no se dispondrá de una planificación totalmente fiable,

generando un estado de cierta incertidumbre entre la dirección del proyecto.

## **1.2. Objetivos**

Para acabar con este estado incertidumbre se presenta en este trabajo la opción de utilizar un nuevo método de planificación, seguimiento y control de obra cuyos fundamentos se apoyan en la metodología del valor ganado. Esta nueva forma de trabajo, gracias a su flexibilidad y agilidad, hará que se acorten los plazos para la elaboración del plan de trabajos y conseguirá por lo tanto una planificación mucho más fiable. Para ello, se analizarán los métodos tradicionales de planificación seguidos hasta ahora en la gestión de proyectos y se desarrollará un nuevo método de control de obra que se adapte mejor tanto a la calidad como a la cantidad de información recibida cuando se gestionan proyectos de instalaciones ferroviarias de alta velocidad.

En particular, se pretenden alcanzar los siguientes objetivos concretos:

- Modificar y adaptar la metodología del valor ganado a los proyectos de instalaciones ferroviarias de alta velocidad.
- Diseñar un conjunto de indicadores de rendimiento útiles para la monitorización y control de este tipo de proyectos.
- Validar la metodología aplicándola en un proyecto real de alta velocidad.



# Capítulo 2

## Gestión del valor ganado en control y planificación de proyectos

### 2.1. Introducción

La Gestión de Proyectos incluye la planificación, la organización, la dirección y la coordinación de la ejecución, y también el control del cumplimiento de los objetivos de los mismos [18]. Esto implica que el concepto de proyecto abarca tanto a la ingeniería como a las estimaciones financieras de gastos y cobros, lo que genera una obligación de combinar de la manera más eficiente posible los recursos. Con la planificación y control de proyectos se busca cumplir con los objetivos, los plazos y los rendimientos económicos que fueron fijados en el momento de la redacción del proyecto [4].

De manera habitual, las tareas de planificación y control de los proyectos de infraestructuras se basan en las metodologías de los hitos de pago y en el método de la gestión del valor ganado (EVM, *Earned Value Management*).

El método de los hitos de pago está basado en dividir el alcance del proyecto en objetivos a los que se asignan valores de coste y fechas de terminación prefijadas[12]. El coste de cada hito se corresponde con la suma de los costes de todas las unidades de obra necesarias para conseguir el cumplimiento del mismo. Análogamente, la suma del coste todos los hitos deberá coincidir con el presupuesto total de ejecución del proyecto. A medida que el proyecto avanza, se obtienen los costes reales incurridos y las fechas reales de terminación de cada uno de los objetivos del proyecto. A partir de la comparación entre hitos planificados y reales, es posible realizar el control del proyecto según este método.

El método de los hitos de pago permite presupuestar el coste y el tiempo requeridos para el cumplimiento de un hito, así como representar en un mismo gráfico el camino previsto inicialmente con la estimación de los tiempos y los costes para cada hito por separado, así como el camino real recorrido. Por ambas razones es un método muy sencillo que facilita la gestión del proyecto. Sin embargo, este método no permite conocer el estado de avance de la obra entre hitos, lo que genera una elevada incertidumbre. Además, tampoco proporciona señales de alarma ante posibles incumplimientos de tareas críticas que den lugar a retrasos en los plazos inicialmente marcados.

El método EVM es una herramienta que facilita la gestión del proyecto a partir de valores de tiempos y costes [48]. Proporciona herramientas para

calcular las variaciones de los costes, de las fechas de finalización de los trabajos y los índices de rendimiento, para pronosticar en base a ellos los nuevos costes finales del proyecto y replanificar el calendario para introducir acciones correctivas que se anticipen a futuros problemas [4]. Este método utiliza los valores de costes y el avance de los trabajos como medidas de información del rendimiento del proyecto, permitiendo medir el coste y valorarlo en unidades monetarias y temporales.

El método de la planificación ganada (ESM, *Earned Schedule Method*) es un complemento al EVM basado en calcular la cantidad de unidades de tiempo que realmente se han ejecutado con respecto al plazo programado total de la obra, y en utilizar ese valor junto con el de la cantidad de trabajos realizados para generar un valor que estime y cuantifique el retraso o adelanto de las obras, con respecto a las previsiones iniciales [34, 1, 13].

## **2.2. Antecedentes de la metodología EVM**

El origen del método de la gestión del valor ganado para la gestión de proyectos se remonta a finales del año 1800, pero es en 1967 cuando se presenta formalmente esta metodología, que aparece como parte integrante de los criterios de los sistemas de control de costes y tiempos (C/SCSC) de las agencias del gobierno de los Estados Unidos. Así, el EVM se ha utilizado ampliamente en proyectos relacionados con el gobierno de la administración de ese país, pero su presencia en la industria privada ha sido mucho menor, en parte debido al uso de paquetes de software de gestión de proyectos [16, 28]. Para fomen-

tar un uso más amplio del EVM en el sector privado, el gobierno de Estados Unidos decidió desechar el sistema C/SCSC a finales de 1996, y avanzar hacia un sistema de gestión del valor ganado más flexible (EVMS, *Earned Value Management System*). El *Project Management Body of Knowledge* proporciona una terminología simplificada y el desarrollo matemático necesario para la aplicación del EVM — guía PMBOK [19].

Los partidarios de utilizar la metodología EVM coinciden en que se consigue reducir los costes y los plazos, y aumentar los rendimientos técnicos de sus proyectos. Por el contrario sus detractores alegan que el método es muy complicado de usar, llegando incluso a afirmar que su aplicación se limita básicamente a los proyectos gubernamentales que así lo requieran [16, 28].

El EVM constituye una base para realizar previsiones de la duración real de un proyecto [15, 42, 43], y es capaz de proporcionar a los gestores de proyectos señales de alerta — índices de rendimiento — que les permitan tomar acciones correctoras. Se ha comprobado que a partir de un 15% de proyecto ejecutado, los índices de rendimiento son totalmente fiables[16]. Además, se puede usar para realizar pagos parciales a las empresas encargadas de tareas subcontratadas teniendo en cuenta el valor ganado de los trabajos que han realizado.

Como los acuerdos contractuales conllevan obligaciones de tipo legal y económico, es importante que todas las partes involucradas tengan claro cuál es el método que se utilizará para evaluar el progreso del proyecto. EVM puede incorporar el concepto de inflación, y también se puede calcular su desviación respecto a las previsiones (diferencia de inflación). Sin embargo, estas consi-

deraciones añaden complejidad a los métodos y pueden ser justificables sólo para proyectos a muy largo plazo o en períodos económicos con una inflación muy alta [14].

Cabe decir que una organización puede decidir utilizar el EVM de manera uniforme en todos sus proyectos, o sólo en aquellos que superen unos determinados umbrales de coste y duración. Además, se puede aplicar a proyectos de distintos tipos y tamaños, tanto el sector público como en el privado. Asimismo, el método se puede utilizar en todos los niveles de la estructura de descomposición de trabajos (WBS) de un proyecto.

Entre las principales ventajas del método EVM destaca que utiliza un modelo matemático para proporcionar información fiel acerca del estado de avance del proyecto. Por contra, su aplicación es difícil en un proyecto real, además de representar una carga elevada de trabajo adicional. Un inconveniente importante radica en que no considera el camino crítico y, por tanto, la medida de rendimiento de la planificación no resulta consistente[34]. Además, tampoco considera que hay pagos que se realizan por adelantado y otros que se pueden diferir en el tiempo, lo que también afecta a las medidas de rendimiento económico, que pueden no ser fieles reflejos de la situación de los trabajos.

### **2.3. Elementos básicos EVM**

El método EVM [48] permite evaluar el comportamiento de un proyecto mediante la utilización de los parámetros valor planificado, presupuesto de finalización, coste real y valor ganado. A partir de estos valores se pueden

obtener otros indicadores más complejos.

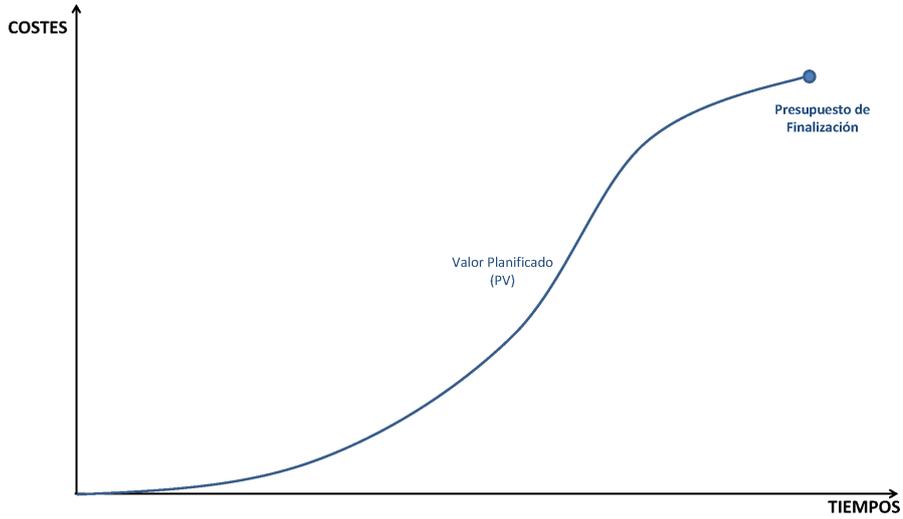
### 2.3.1. Valor planificado y presupuesto de finalización

El Valor Planificado (PV, *Planned Value*) es el presupuesto base de referencia (figura 2.1) y coincide con el aprobado para llevar a cabo una actividad, un paquete de trabajos o la totalidad del proyecto. Puede ser visto como el valor que se obtuvo en función de los logros de trabajo del proyecto, hasta un punto dado en el tiempo. El valor planificado acumulado a lo largo del tiempo se conoce como coste presupuestado del trabajo programado (BCWS, *Budgeted Cost of Work Scheduled*) y su representación gráfica se denomina curva S.

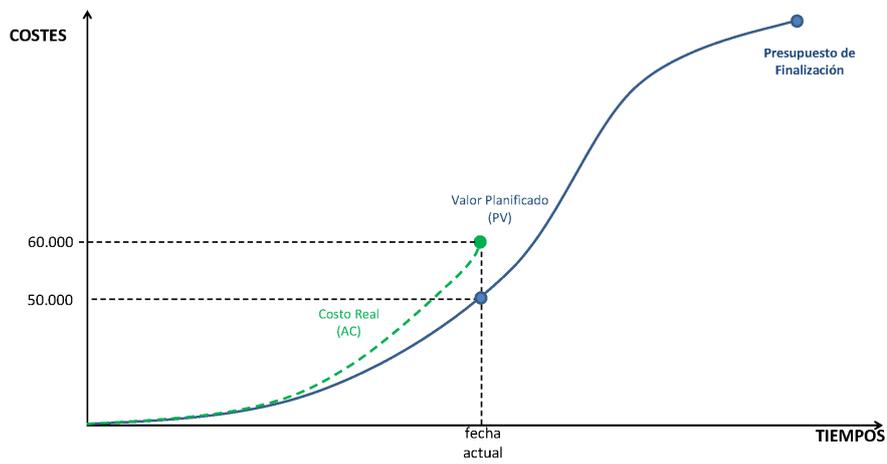
El presupuesto de finalización (BAC, *Budget at Completion*) es la línea de base del presupuesto total de la actividad, paquete de trabajo, o proyecto (figura 2.1). Este valor coincide con el máximo del valor planificado y con el último punto de la curva S.

### 2.3.2. Coste real

El Coste Real (AC, *Actual Cost*) o Coste Real del Trabajo Realizado (ACWP, *Actual Cost of Work Performed*) es el valor de los costes totales reales acumulados en un momento dado durante la ejecución de una actividad, paquete de trabajo, o proyecto. La figura 2.2 ilustra un proyecto en el que el valor previsto a partir de la fecha de estado del proyecto es  $PV = 50,000 \text{ €}$  y el coste real es de  $AC = 60,000 \text{ €}$ .



**Figura 2.1:** Curva S: Valor planificado y presupuesto de finalización



**Figura 2.2:** Valor planificado y coste real de terminación

Proyecto	Presupuesto inicial (miles €)	% Com- pletado	Valor Ganado
Fase 1			
Subtarea	20	100	20
1.1			
Subtarea	40	50	20
1.2			
...			
Fase N			
Subtarea	...		
N.1			
Subtarea	...		
N.2			
...			
Total	100		40

**Figura 2.3:** Ejemplo de esquema de descomposición de tareas de un proyecto y cálculo de valor ganado

### 2.3.3. Valor ganado

Es el valor de los trabajos realizados hasta un instante temporal de acuerdo con el presupuesto inicial [7], por lo que representa la cantidad presupuestada para realizar el trabajo que se ha realizado hasta ese instante. El valor ganado también se conoce como el coste presupuestado del trabajo realizado (BCWP, *Budgeted Cost of Work Performed*). El valor ganado de un proyecto es la suma de los valores ganados de cada una de sus subtareas, y el valor ganado de una subtask se obtiene multiplicando el presupuesto inicial total de esa subtask por el porcentaje que se ha completado de la misma. La figura 2.3 muestra un desglose de los trabajos (WBS, *Work Breakdown Structure*) y los valores ganados en un proyecto cuyo presupuesto total inicial es de 100.000 €.

Para la subtask 1.1 se cuenta con un presupuesto total de 20.000 € y está

totalmente completado (100%, 1 p.u.) en la fecha de análisis. El valor ganado obtenido para este paquete de trabajo es, por tanto:

$$EV_{1,1} = \text{Presupuesto Inicial} \cdot \text{valor p.u. completado} = 20,000 \cdot 1 = 20,000 \text{ €}$$

La subtarea 1.2, con presupuesto total inicial de 40.000 €, está ejecutada al 50% (0.1 p.u) en la fecha de estudios, por lo que el valor ganado de esta subtarea es:

$$EV_{12} = 40,000 \cdot 0,5 = 20,000 \text{ €}$$

El valor ganado en todo el proyecto tiene en cuenta las tareas efectivamente ejecutadas se obtiene como la suma de los valores ganados de las subtareas:

$$EV = \sum EV_i = 40,000 \text{ €}$$

Desglosar un proyecto en subproyectos o subtareas y calcular los valores de EV permite convertir unidades físicas de medida del avance de los logros del proyecto (metros cúbicos de hormigón, metros lineales de cable, porcentajes completados, hitos alcanzados, entregables completados, etc.) en unidades de medida de tipo económico que se valoran en unidades monetarias, temporales o en cualquier otra que se pueda considerar adecuada para medir los valores y costos asociados al proyecto.

La figura 2.4 ilustra el proyecto ejemplo anterior, en el que el presupuesto

total al finalizar (BAC) es de 100,000 €, el valor previsto (PV) a partir de la fecha de análisis es 50,000 €, el coste real (AC) es de 60,000 € y el valor ganado del proyecto es de 40,000 €.

## **2.4. Medición del rendimiento de un proyecto**

El rendimiento de costes de un proyecto se determina comparando el valor ganado (EV) con los costes reales (AC) de la actividad, unidad de trabajo, sub-proyecto o del proyecto completo. Análogamente, el rendimiento de tiempos se determina comparando el valor ganado con el valor planificado (PV). Esta comparación puede realizarse utilizando cálculo de diferencias o variaciones, de porcentajes de esas diferencias y de índices de rendimiento; pero siempre empleando medidas de valor ganado, y no de valor planificado.

### **2.4.1. Diferencias de costes, planificación y tiempo**

Las diferencia de costes (CV, *Cost Variance*) es una medida de la diferencia entre el valor ganado y el coste real en el momento en que se realiza el control (figura 2.4). Proporciona una medida del cumplimiento presupuestario utilizando, normalmente, valores acumulados.

$$CV = EV - AC$$

La diferencia con la planificación (SV, *Schedule Variance*) es una medida de la conformidad de los progresos reales con los inicialmente planificados.

$$SV = EV - PV$$

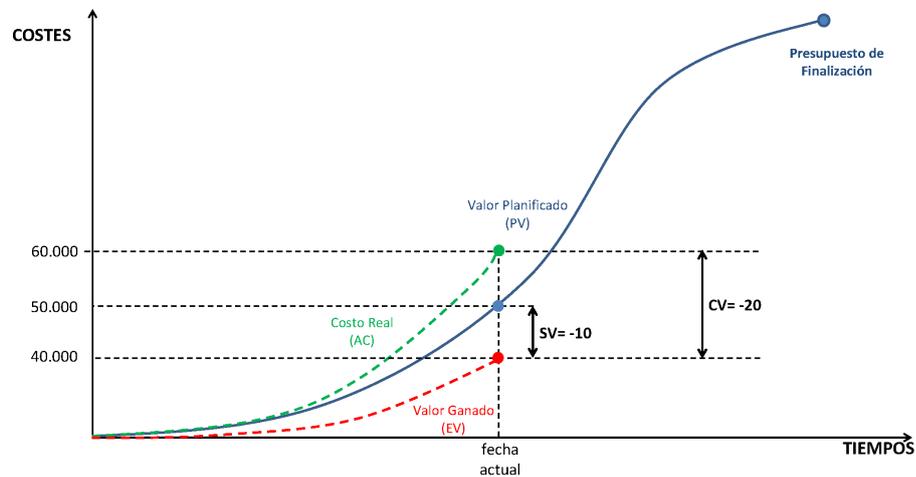
El valor promedio del coste real en un período de tiempo se denomina índice de gasto. Análogamente, el valor planificado promedio en ese mismo período es el índice de valor planificado ( $PV_{rate}$ ). Este índice se puede calcular dividiendo el valor del presupuesto original del proyecto (BAC) entre el tiempo total planificado (SAC).

$$PV_{rate} = \frac{BAC}{SAC}$$

Entonces, la diferencia con la planificación (SV) puede traducirse de unidades monetarias a unidades temporales, dando lugar a la diferencia de tiempo (TV) sin más que dividir su valor entre el índice de planificación.

$$TV = \frac{SV}{PV_{rate}}$$

Aplicando estas definiciones a un proyecto cuyo BAC es de 100,000 € y su SAC es de 40 semanas, se tiene un  $PV_{rate}$  de 2,500 €/semana. Si en un punto de control se tiene que el valor ganado es igual 40,000 € y el coste real es 60,000 € (ver figura 2.4), entonces la diferencia de costes, CV, resulta ser de -20,000 €. Análogamente, como el valor planificado, PV, en ese punto es igual a 50,000 €, la diferencia con la planificación, SV, resulta ser de -10,000 €. Este valor se traduce a unidades temporales dividiéndolo entre el  $PV_{rate}$ , lo que proporciona un valor de diferencia de tiempo, TV, igual a -4 semanas.

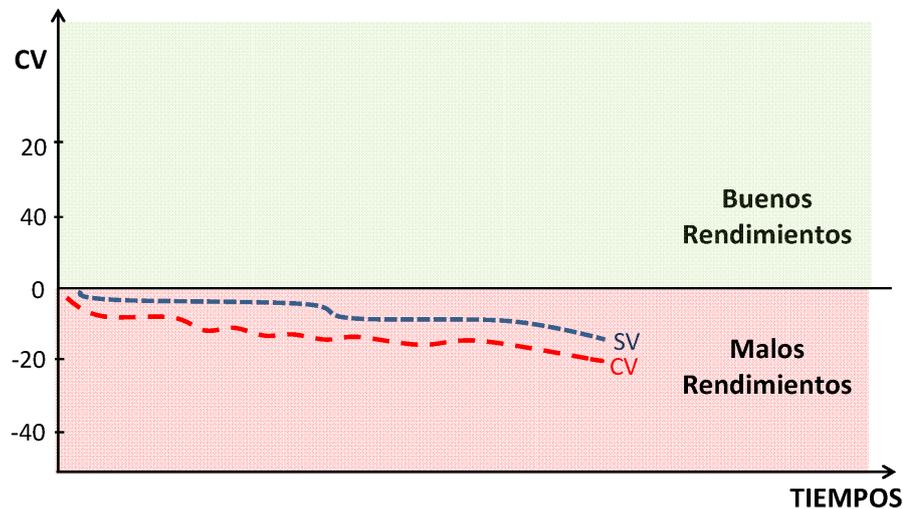


**Figura 2.4:** Variación de costes, de planificación y de tiempo

El valor de TV puede obtenerse también de forma gráfica, sin más que medir la distancia horizontal entre el punto de control de la curva EV y la curva PV.

La medición de TV también se puede realizar gráficamente. Esto se logra trazando una línea horizontal desde el punto de intersección de la curva de EV con la fecha de estado hacia la curva de PV. La lectura de la distancia se realiza en el eje de tiempo horizontal [16].

Los valores de las tres medidas de diferencias (costes, planificación y tiempo) resultan ser cero cuando la ejecución del proyecto se ajusta al plan, valores negativos reflejan rendimientos insuficientes de los trabajos realizados. Valores positivos de diferencias son indicadores de rendimientos que mejoran a lo inicialmente planificado. La evolución de estos valores a lo largo del tiempo es un indicador de su tendencia y aporta información sobre la necesidad de replanificar y sobre la efectividad de introducir acciones correctivas (figura 2.5).



**Figura 2.5:** Tendencia de las medidas de diferencias de costes, planificación y tiempo

En las fórmulas anteriores, un valor de desviación igual a 0 representa que el rendimiento está en línea con el objetivo, mientras que los valores positivos son indicadores de buen rendimiento y, por el contrario, los valores negativos reflejan que el rendimiento es inferior al previsto.

#### 2.4.2. Diferencias porcentuales de costes y planificación

Las medidas de diferencias de coste y planificación se pueden expresar en valores porcentuales. Así, la diferencia porcentual de coste (CVP, *Cost Variance Percent*) para medir la bondad presupuestaria del coste real del trabajo realizado se calcula como la relación porcentual entre la diferencia de coste y el valor ganado ( $CVP = 100 \cdot CV/EV$ ). Análogamente, el valor de la diferencia porcentual con la planificación (SVP, *Schedule Variance Percent*) se obtiene como la relación porcentual entre la diferencia de la planificación y el valor

planificado ( $SVP = 100 \cdot SV/PV$ ).

En el ejemplo de la figura 2.4, se obtiene un CVP de -50%, lo que refleja que el coste del proyecto es un 50% superior al valor presupuestado. Por otro lado el valor SVP es igual a -20%, indicador de que el proyecto está retrasado un 20%.

Hay autores [11] que prefieren utilizar el valor ganado en lugar del valor planificado para calcular el valor SVP, que pasa a reformularse como  $SVP_{EV} = 100 \cdot SV/EV$ . En el caso del ejemplo anterior, el valor  $SVP_{EV}$  es del 25%. Según los autores, la ventaja de esta forma de calcular la desviación porcentual estriba en que relaciona las dos medidas de desviaciones — costes y tiempo — con la misma variable, el valor ganado, y alegan que, así, se tiene un mejor indicador del estado de avance del proyecto.

### 2.4.3. Índices de rendimiento

Los índices de rendimiento permiten resumir el estado del proyecto en un momento dado en una única medida que permita comparar la evolución de los trabajos con respecto a la planificación original.

Los dos índices principales son el índice de rendimiento del coste (CPI, *Cost Performance Index*) y el índice de rendimiento de la planificación (SPI, *Schedule Performance Index*)[9].

El índice de rendimiento del coste mide el coste presupuestado para el trabajo completado frente al coste actual, es decir, mide el rendimiento del coste para el trabajo hasta la fecha del punto de control como el cociente entre el valor ganado y el coste real.

$$CPI = \frac{EV}{AC}$$

Valores de CPI inferiores a la unidad indican que por cada unidad monetaria invertida en el proyecto se ha realizado un trabajo por valor inferior a esa unidad monetaria.

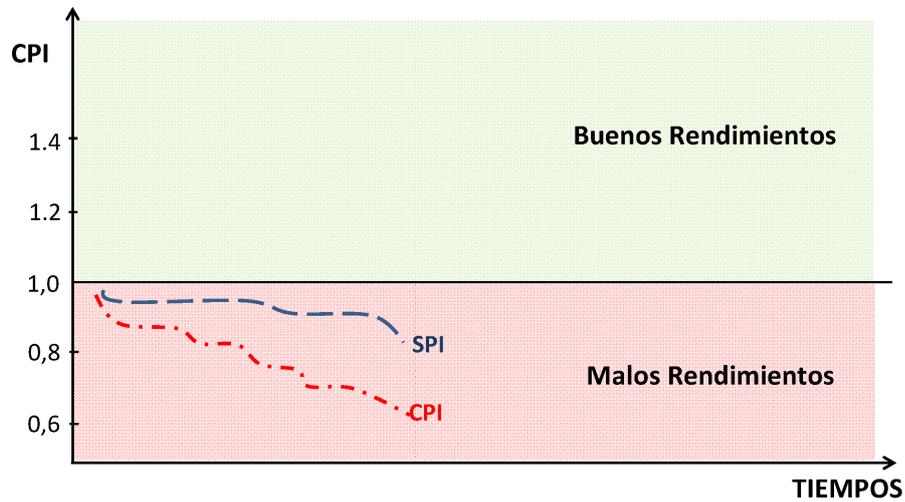
El índice de rendimiento de la planificación mide el coste del trabajo realizado frente al coste del trabajo planificado, por lo que mide la eficacia con que el trabajo se ha ido cumpliendo conforme a la planificación.

$$SPI = \frac{EV}{PV}$$

Valores de SPI inferiores a la unidad indican que por cada unidad monetaria de trabajo planificado se ha ejecutado un trabajo por valor inferior a esa unidad monetaria. Este valor identifica, pues, posibles problemas de planificación, que acostumbran a exigir gastos adicionales, por lo que este índice se puede utilizar como previsor de gastos futuros [7].

Así, para el proyecto ejemplo de la figura 2.5, se obtiene un valor de CPI igual a 0.67 y un valor de SPI de 0.80, ambos menores que la unidad y, por tanto, indicadores de que el rendimiento es claramente ineficiente.

Diferentes autores proponen calcular los índices de rendimiento con las operaciones inversas a las anteriores [2, 10, 45]. Así, en el ejemplo que nos ocupa, se tendría un valor CPI igual a 1.50, representativo de que el proyecto se está ejecutando con unos costes superiores a lo presupuestado en un 50%, es decir, para finalizar el proyecto se prevén unos gastos iguales al valor CPI



**Figura 2.6:** Gráfico de tendencia de CPI y SPI

multiplicado por BAC, que serán de 150,000 €. En cuanto al SPI, su valor sería de 1.25, lo que significa que el proyecto se está ejecutando con un retraso del 25 %, así que su duración pasaría de 40 semanas planificadas inicialmente a 50 semanas.

Los gráficos de los índices de rendimiento a través del tiempo proporcionan valiosos indicadores de tendencias en el desempeño del proyecto y en el impacto de las acciones correctivas, por lo que pueden ser útiles en las revisiones del proyecto (figura 2.6).

#### 2.4.4. Ratio crítico

El ratio crítico (CR, *Critical Ratio*), también llamado índice de coste-planificación (CSI, *Cost Schedule Index* [5, 31]) es un indicador de la salud general del proyecto que se obtiene a partir del producto de los dos índices de

rendimiento [3, 30].

$$CR = CPI \cdot SPI$$

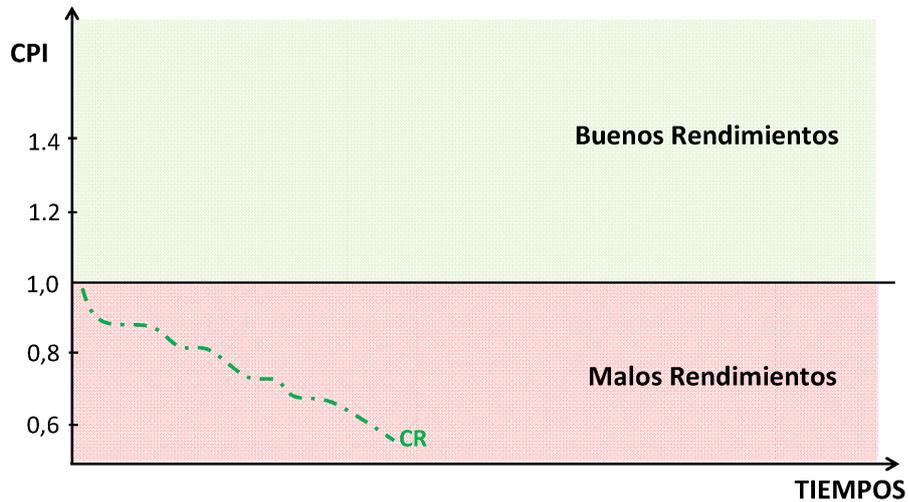
Cuando el rendimiento del proyecto se ajusta a las previsiones iniciales, el valor del ratio crítico es 1.0. Esto puede ser debido a que los dos índices, CPI y SPI, estén próximos a la unidad, pero si uno de los dos índices sugiere malos resultados, el otro debe indicar un rendimiento muy bueno.

Un ratio crítico inferior a la unidad refleja que el rendimiento general del proyecto es pobre. Esto puede ser debido a que tanto CPI como SPI están por debajo de los objetivos previstos, o si uno de estos índices muestra un buen rendimiento, entonces el otro reflejará un rendimiento extremadamente bajo. Esto limita el uso de las compensaciones efectivas poniendo de relieve la dificultad en el intento de alcanzar las metas deseadas en el proyecto.

Según lo expuesto, continuando con el ejemplo de la figura 2.4, el valor del ratio crítico resulta ser 0.53, lo que refleja un rendimiento pobre del proyecto.

El análisis de la evolución del ratio crítico a lo largo del tiempo (figura 2.7) proporciona un indicador rápido de la tendencia del rendimiento general del proyecto, así como del impacto de las acciones correctivas.

En la práctica, la representación en una misma gráfica de la evolución de los valores de índices de rendimiento y de ratio crítico resaltan aún más las medidas de desempeño del proyecto. A menudo se aporta una visión cualitativa marcando líneas horizontales a partir de las que el comportamiento del proyecto cambia (gráfico de semáforo del rendimiento, figura 2.8). En función



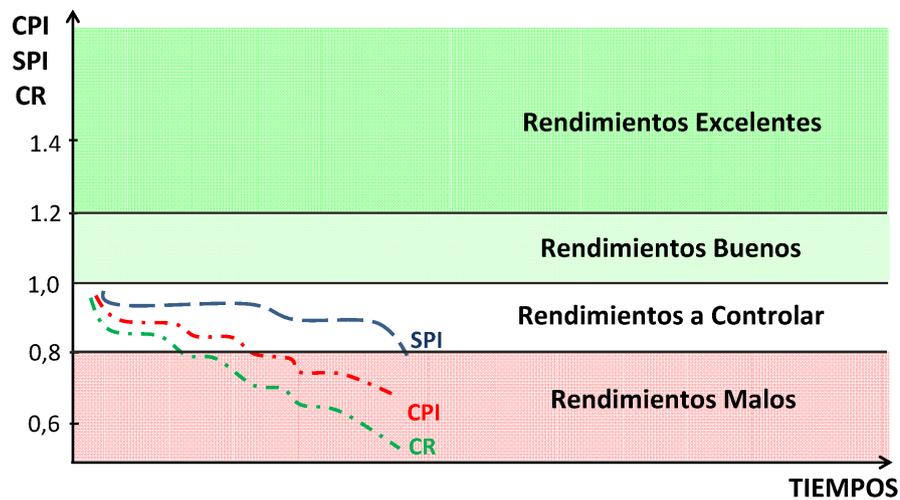
**Figura 2.7:** Representación de la evolución del ratio crítico con el tiempo

de la zona o zonas en que se encuentren los distintos índices, la dirección del proyecto deberá decidir si es preciso incorporar o no acciones correctoras, incluyendo la posibilidad de tener que reasignar los recursos [30].

## 2.5. Estimaciones de costes y tiempos

La gestión de proyectos obliga a tomar decisiones que afectan a la evolución futura del proyecto. El método del valor ganado es particularmente útil para realizar predicciones de costes y de tiempos, pues aporta información precisa del rendimiento real del proyecto desde su inicio hasta el punto en que se realiza el control.

Es aconsejable pedir a los gestores de paquetes de trabajo, a los responsables del proyecto y a los gerentes que revisen los valores de los costes y de los tiempos de ejecución previstos, y que aporten sus propias previsiones — que



**Figura 2.8:** Gráfico de semáforo del rendimiento de un proyecto

pueden ser subjetivas — en lo que respecta a sus áreas de trabajo. Estas previsiones deberían emitirse con anterioridad a de la emisión de informes sobre la ejecución del proyecto y a la realización de reuniones de revisión del mismo. Ambas predicciones, matemática y subjetiva, deberían ser incluidas en los informes de ejecución del proyecto para poner de relieve las desviaciones en los rendimientos de las diferentes áreas de trabajo, y sirve para resaltar la necesidad de considerar, en su caso, la necesidad de introducir acciones correctoras. Como mínimo, este esfuerzo ayudará a evitar sorpresas y discusiones en las reuniones de revisión del proyecto. En resumen, el método del valor ganado pone de manifiesto las debilidades en la ejecución de los trabajos y constituye una herramienta fundamental para ayudar a centrar el interés en los puntos conflictivos[32].

### 2.5.1. Estimación del coste final de ejecución

El coste final de ejecución de un proyecto (EAC, *Estimate at Completion*) es el valor que se estima costará el proyecto a partir de la información disponible en un momento de control. Por otro lado, también se puede estimar cuál será el coste de terminar todos los trabajos pendientes (ETC, *Estimate to Complete*). Ambos valores se pueden obtener utilizando métodos de estimación de costes o métodos matemáticos basados en el análisis del valor ganado. En función de las previsiones que se hagan sobre el comportamiento futuro, se obtendrán valores EAC diferentes. El *Project Management Institute* [19] propone tres formas de estimar el valor de EAC aplicables a tres tipos diferentes de escenario:

**Escenario 1:** Este caso se presenta cuando cuando al analizar el estado del proyecto se observa que las previsiones originales son diferentes a la realidad del proyecto, o no se pueden aplicar porque han cambiado las condiciones que afectan a los trabajos. En este caso hay que recalcular el valor ETC utilizando metodologías de estimación de costes. Con el valor que se obtenga para el coste de los trabajos pendientes,  $ETC_1$ , se obtiene el nuevo valor del coste final de ejecución:

$$EAC_1 = AC + ETC_1$$

**Escenario 2:** Esta situación aparece cuando en el punto de control se observa que el rendimiento del proyecto en el pasado no sirve para estimar el comportamiento futuro porque las condiciones que se dieron hasta el momento de control no se van a seguir dando (ni en lo que a problemas

se refiere, ni en lo que respecta a oportunidades de mejorar ese rendimiento). Además, se supone que el comportamiento en el futuro va a respetar lo previsto en el proyecto inicialmente. En este caso, el coste de los trabajos pendientes es igual al presupuesto de finalización menos el valor ganado. Así, nuevo valor de coste final de ejecución se estimará como:

$$EAC_2 = AC + ETC_2 = AC + BAC - EV$$

La expresión anterior también se puede expresar en función de la diferencia de costes ( $CV = EV - AC$ ):

$$EAC_2 = AC - (EV - AC) = AC - CV$$

**Escenario 3:** Este caso aparece cuando en el punto de control se piensa que el comportamiento en el pasado ha sido similar a lo que se espera suceda en el futuro, y que las eficiencias e ineficiencias continuarán presentes hasta la finalización del proyecto. Entonces, el coste de los trabajos pendientes será la suma del coste real acumulado más el coste de los trabajos pendientes — presupuesto de finalización menos el valor ganado — modificado por el valor del índice de rendimiento del coste:

$$EAC_3 = AC + ETC_3 = AC + \frac{BAC - EV}{CPI}$$

**Escenario 4:** En ocasiones se puede suponer que los objetivos iniciales del proyecto se cumplirán a la finalización del mismo, porque será posible

ajustar los rendimientos aunque el rendimiento previo haya sido bajo. Esta situación suele darse en en los primeros momentos de ejecución del proyecto cuando el rendimiento anterior ha sido pobre. En este caso el presupuesto de finalización estimado coincide con el presupuesto de finalización proyectado.

$$EAC_4 = BAC$$

Es de destacar que rara vez se consigue que el  $EAC_4$  esté en línea con el BAC. Los Proyectos no bien gestionados tienden a incrementar su presupuesto, a atrasar sus plazos y, con frecuencia, a perder otros objetivos, tanto de alcance como de calidad. Heinze [21] ofrece la siguiente fórmula adicional para el cálculo de EAC:

$$EAC_4 = \frac{BAC}{CPI \cdot SPI}$$

Otros autores ofrecen una fórmula similar que la apoya [16, 26], planteando que hay una tendencia humana a retomar los plazos, incluso si eso llevase acarreado un aumento de los recursos necesarios para cumplirlos. Esta fórmula implica el reconocimiento de que la gestión de costes y la gestión de los plazos son inseparables [26], aunque cumplir con los tiempos puede implicar, en general, un aumento del coste; y, aunque el uso de recursos menos cualificados podría reducir los costes, posiblemente tenga una incidencia negativa en el cumplimiento de los plazos de entrega.

**Escenario 5:** En el supuesto de que alguna actividad o el proyecto entero es-

tuvieran retrasados en los tiempos se necesitaría un realizar un gasto adicional para llevar el proyecto a los objetivos de tiempos y plazos inicialmente planificados. Por otro lado, si alguna actividad o el proyecto estuvieran adelantados con respecto al cronograma inicial, entonces se podrán reducir los costes. Esta reducción es una consecuencia de tener más disponibilidad de tiempo que el previsto para ejecutar los trabajos. Entonces se puede reducir el número de recursos materiales, o la cantidad de recursos humanos. También se puede dedicar parte de ese tiempo a buscar mejores precios de los transportes, de los equipos y de los materiales, o a cualquier otra acción encaminada a reducir los costes. Tanto si el rendimiento es bueno como si es malo, el cumplimiento de los plazos es un factor crítico en la estimación del coste final de ejecución, que corresponderá con el valor del presupuesto del proyecto afectado por el ratio crítico:

$$EAC_5 = \frac{BAC}{CR}$$

**Escenario 6:** Hay situaciones en las que se sabe que el coste final de ejecución va a ser mucho mayor que el presupuestado inicialmente, aunque no suele cuantificarse:

$$EAC_6 \gg BAC$$

Se trata de un escenario que aparece como consecuencia de retrasos en las acciones correctivas por haber supuesto durante demasiado tiempo que el coste real final se aproximaría al presupuestado, sin tener en cuenta que el rendimiento era muy pobre. Así, los costes más elevados, los

logros escasos y los patrones de gasto ineficientes dan lugar a un problema imposible de resolver en la práctica.

En el ejemplo de la figura 2.4, en el que el valor del coste real acumulado es 60,000 €, el presupuesto de finalización es de 100,000 €, el valor ganado es 40,000 €, el índice de rendimiento de coste es 0.67, y el ratio crítico es 0.53, los valores que se estimarían para el coste final de ejecución serían los siguientes:

- Escenario 1.  $EAC_1 = 60,000 + ETC_1$
- Escenario 2.  $EAC_2 = 60,000 + 100,000 - 40,000 = 120,000$
- Escenario 3.  $EAC_3 = 60,000 + \frac{100,000 - 40,000}{0,67} \simeq 150,000$
- Escenario 4.  $EAC_4 = 100,000$
- Escenario 5.  $EAC_5 = \frac{100,000}{0,53} \simeq 187,500$

La representación gráfica del estimador EAC a lo largo del tiempo proporciona un indicador de las tendencias de comportamiento de los costes del proyecto y del impacto de las acciones correctivas. La figura 2.9 muestra el gráfico EAC para el ejemplo anterior en el escenario 3, mientras que la figura 2.10 corresponde al escenario 5.

### 2.5.2. Diferencia en el coste de ejecución

La diferencia en el coste de ejecución de un proyecto (VAC, Variance at completion) da una idea acerca del estado de los costes con respecto a lo estimado para la realización del proyecto. Es la diferencia entre el presupuesto

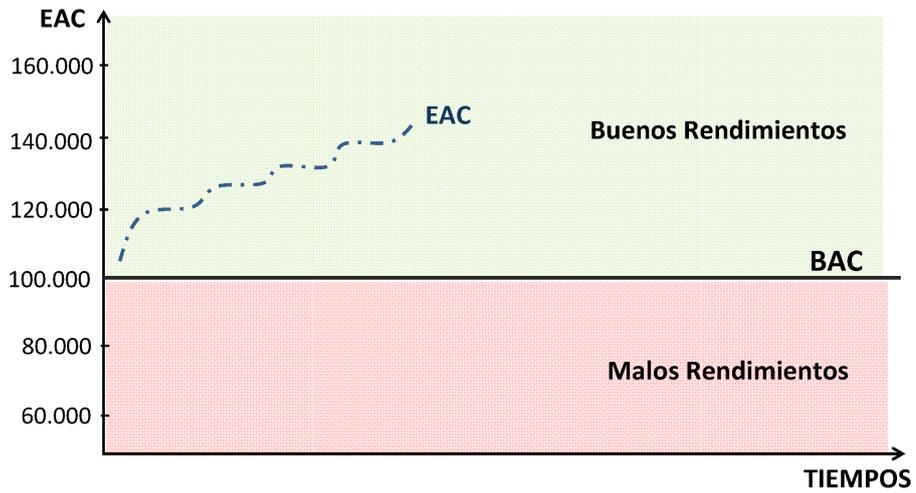


Figura 2.9: Escenario 3. Gráfico de tendencia EAC

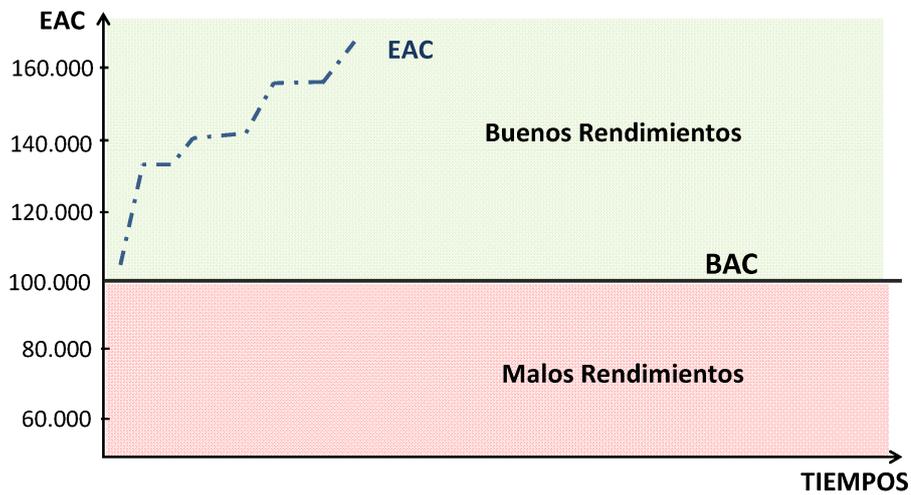


Figura 2.10: Escenario 5. Gráfico de tendencia EAC

de finalización inicial y el coste final de ejecución estimado en función del escenario que se considere:

$$VAC = BAC - EAC$$

Si la diferencia en el coste es cero, entonces el proyecto se prevé que esté terminado en línea con el presupuesto previsto; un valor positivo indica que se prevén unos costes menores a los previstos; y valores negativos son indicadores de un sobrecoste. La evolución de la diferencia del coste de ejecución a lo largo del tiempo también indica la tendencia del proyecto y es representativo del impacto de las acciones correctoras.

En el ejemplo de la figura 2.4, en el que el presupuesto de finalización es de 100,000 €, y suponiendo que nos encontramos en el escenario 3, con un coste final de ejecución estimado en 150,000 €, el valor de la diferencia en el coste de ejecución resulta ser de -50,000 €.

### 2.5.3. Estimación del tiempo de finalización

El tiempo estimado de finalización (*TEAC, Time Estimation To Complete*) es el valor de la duración total estimada del proyecto que se obtiene a partir de los valores de rendimiento del proyecto. Es el pronóstico del tiempo a término [41]. La diferencia en el tiempo de finalización (*TVAC, Time Variance At Completion*) es la diferencia [29] entre el tiempo total de ejecución planificado (*SAC*) y el tiempo de finalización estimado:  $TVAC = SAC - TEAC$ . Los valores de *TVAC* proporcionan una indicación de la cantidad de tiempo esti-

mada para completar los trabajos. Un valor de TVAC nulo indica que se espera que el proyecto se complete en línea con las previsiones iniciales; un valor positivo indica que se espera que el proyecto esté terminado antes de lo previsto inicialmente; y un valor negativo indica que se espera que el proyecto se complete con retraso. Por otro lado, el tiempo estimado para finalizar (TETC, *Time Estimate to Completion*) se refiere al tiempo restante previsto necesario para complementar una actividad, un grupo de actividades o el proyecto [41]. El tiempo estimado para finalizar se obtiene restando al tiempo estimado de finalización el tiempo que ha transcurrido desde el inicio del proyecto hasta el punto de control (AT, *Actual Time*):  $TETC = TEAC - AT$ . Así pues, tanto el tiempo de ejecución final real como su diferencia con el pronóstico inicial se pueden estimar utilizando los valores de rendimiento del proyecto [3].

Para estimar los valores de TEAC se pueden dar varios supuestos:

**Escenario 1:** Cuando el análisis de la situación actual del proyecto demuestra que las previsiones iniciales de tiempos no eran correctas o que ya no se pueden utilizar debido a nuevas condiciones que afecten al proyecto, entonces se necesita realizar una previsión del tiempo total del proyecto, TEAC. El nuevo valor será la suma del tiempo transcurrido y el tiempo estimado para finalizar.

$$TEAC_1 = AT + TETC$$

**Escenario 2:** Cuando el análisis muestra que los rendimientos de los trabajos planificados y ya ejecutados no son válidos como referencia en los trabajos futuros porque no se prevé que aparezcan los problemas anteriores, y

se considera que el proyecto a partir de ese momento se comportará de la manera inicialmente prevista, se puede estimar el valor TEAC como la suma del AT más el tiempo programado original para el trabajo restante. Esto se puede simplificar como el valor del tiempo total de ejecución planificado menos el valor de la desviación de tiempos [16].

$$TEAC_2 = SAC - TV$$

Esta estimación se corresponde con la duración total estimada en la planificación de trabajos que se habría obtenido por el método del camino crítico (CPM, *Critical Path Method*) o utilizando el método PERT.

**Escenario 3.** Cuando en el punto de muestreo se observa que el rendimiento pasado es válido para estimar los rendimientos futuros del plan de trabajos y que, por tanto, el rendimiento obtenido hasta la fecha continuará en el futuro, y que las eficiencias o ineficiencias de las duraciones obtenidas hasta la fecha se mantendrán hasta su finalización, entonces la estimación del valor de TEAC se obtiene como la suma del valor AT más el tiempo programado original para el trabajo restante, pero modificado por el valor SPI acumulativo. Esta expresión se puede simplificar utilizando el cociente entre el valor del tiempo total de ejecución planificado y el valor del índice de rendimiento de la planificación.

$$TEAC_3 = \frac{SAC}{SPI}$$

**Escenario 4:** Esta situación es difícil de conseguir, y supone que se cumplen los objetivos de acuerdo con la planificación. Así pues, el valor de TEAC coincide con el valor SAC planificado.

$$TEAC_4 = SAC$$

**Escenario 5:** Los rendimientos de trabajos y de costes son factores inseparables, así que un buen comportamiento de uno de los dos puede compensar un comportamiento no tan bueno en el otro. En el supuesto de que una actividad, paquete de trabajo, o proyecto vayan por encima de lo presupuestado, entonces podría ser necesario incrementar los tiempos para poder llevar el presupuesto al estado planificado. Esto se puede lograr reduciendo la cantidad de recursos destinados al proyecto y negociando mejores precios. Por otro lado, en el supuesto de que los costes fueran inferiores a lo presupuestado, se podría reducir el tiempo de finalización de los trabajos para evitar posibles retrasos, aunque esto puede incurrir en mayores costes (horas extraordinarias, recursos adicionales, agilización de los suministros, etc.). En este supuesto, el valor TEAC es el valor SAC afectado por el ratio crítico, que resume el rendimiento en cuanto a costes y tiempos.

$$TEAC_5 = \frac{SAC}{CR}$$

La expresión anterior puede proporcionar una mejor indicación de los tiempos estimados para la finalización cuando la vinculación con el pre-

supuesto es fundamental para la organización del proyecto.

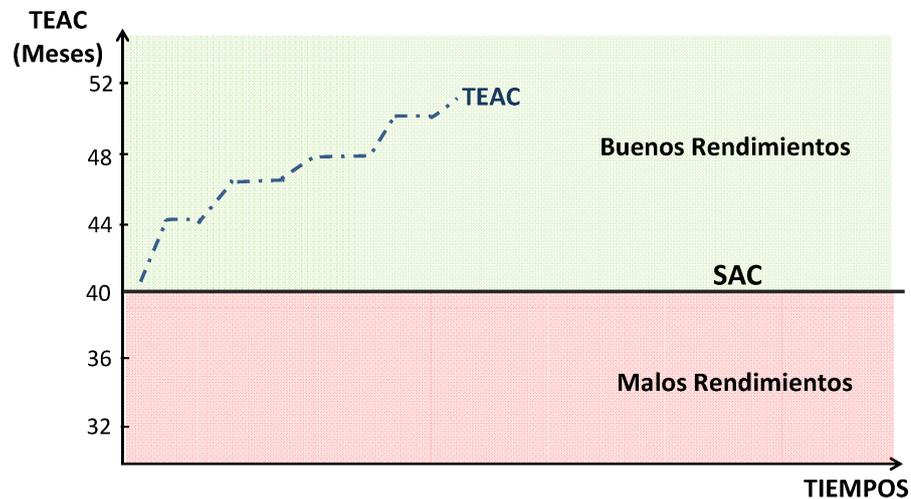
**Escenario 6:** Este caso aparece cuando el valor de TEAC estimado es muchísimo mayor que el SAC planificado.

$$TEAC_6 \gg SAC$$

Este caso puede ser un resultado de retrasar la acción correctiva y confiar durante más tiempo del debido en que el proyecto, de alguna manera, se terminará acercando a la programación de trabajos inicial, independientemente de los malos resultados que se van observando en los puntos de control. Una mayor duración, menores niveles de logros y cumplimiento de hitos de la planificación ineficientes convierten prácticamente en irreversible la situación.

En el ejemplo de la figura 2.4, el tiempo transcurrido desde el inicio del proyecto, AT, es de 20 semanas, de un tiempo total previsto, SAC, igual a 40 semanas. De acuerdo con la planificación, la diferencia de tiempo es de -4 semanas, y se ha obtenido un índice de rendimiento de la planificación igual a 0.8, mientras que el ratio crítico es 0.53. Con estos valores, el tiempo estimado de finalización se obtendría en función del escenario en que nos encontremos:

- Escenario 1:  $TEAC_1 = 20 + TETC \text{ semanas}$
- Escenario 2:  $TEAC_2 = 40 - (-4) = 44 \text{ semanas}$
- Escenario 3:  $TEAC_3 = \frac{40}{0,8} = 50 \text{ semanas}$



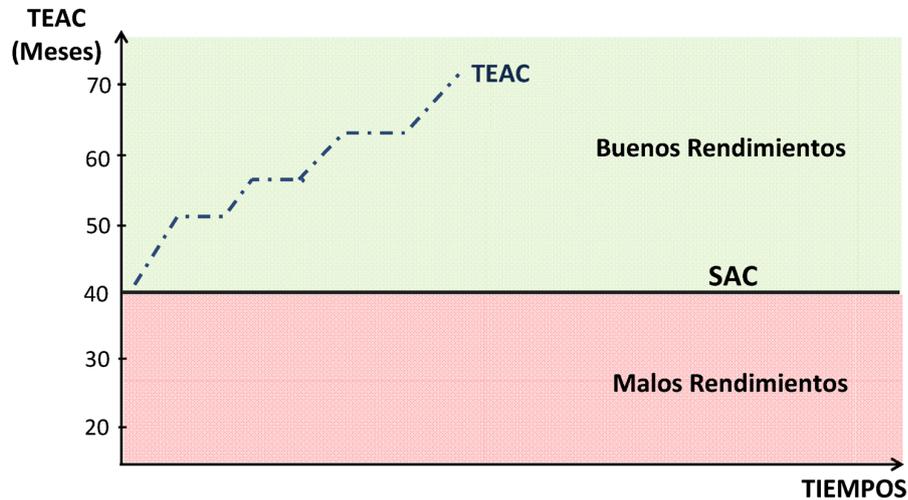
**Figura 2.11:** Escenario 3. Gráfico TEAC.

- Escenario 4:  $TEAC_4 = 40 \text{ semanas}$
- Escenario 5:  $TEAC_5 = \frac{40}{0,53} \simeq 76 \text{ semanas}$

La representación gráfica de la evolución de los valores TEAC y TVAC a lo largo del tiempo proporcionan un indicador de las tendencias del rendimiento del programa de trabajos y del impacto de las acciones de control del proyecto. La figura 2.11 muestra un gráfico del TEAC, para el proyecto de ejemplo utilizado, aplicando la hipótesis anterior.

## 2.6. Estimación del porcentaje de trabajo completado

Conocer el porcentaje efectivamente completado de una actividad, paquete de trabajo, o de un proyecto es importante desde el punto de vista de un gestor; aunque en muchos proyectos y para muchas empresas es difícil calcular este



**Figura 2.12:** Escenario 5. Gráfica TEAC

valor. Esta situación aparece con mayor frecuencia cuando se trata de compañías nuevas, que desarrollan tecnologías emergentes o proyectos de tecnología sensibles, como pueden ser las telecomunicaciones, el desarrollo de software, el diseño de arquitectura, las de investigación y desarrollo, o concretamente, las líneas ferroviarias de alta velocidad.

Debido a esta dificultad, se han propuesto alternativas al uso del porcentaje completado para obtener estimaciones de los logros del proyecto:

**Regla 50/50:** Esta regla especifica que el 50% del presupuesto de una actividad se fija en el momento en el que está previsto que se inicien los trabajos, y el 50% restante se fija para cuando esté prevista la finalización de los mismos. Si el proyecto tiene un gran número de hitos, entonces la distorsión que se introduce cuando se aplica la regla 50/50 es mínima debido a que estos hitos se ejecutan en diferentes fases de la ejecución

del proyecto [26]. Esta regla es útil para realizar el cálculo del valor planificado. Análogamente, para calcular el valor ganado se registra el 50 % del presupuesto de una actividad cuando se inicia la obra, mientras que el 50 % restante se registra cuando el trabajo ha concluido. Para que la regla 50/50 se pueda aplicar con éxito, hay que dividir el proyecto en paquetes de trabajo muy pequeños [16].

**Regla 0/100:** Esta regla especifica que el valor se gana sólo cuando el elemento se ha completado y se utiliza generalmente en paquetes de trabajo que tienen una corta duración [26]. Esta regla también es conocida como método del hito ponderado, que indica que se recibe el dinero cuando el hito se ha completado físicamente [16].

**Otras reglas:** Existen otras posibilidades de especificar cuánto porcentaje se paga al empezar y cuánto a la finalización del trabajo. Así, las reglas 10/90, 20/80 y 25/75 consideran que el contratista certificará al inicio de los trabajos el 10 %, 20 % o 25 % del valor, respectivamente. La cantidad restante se le abonará cuando finalice el trabajo. Si existe una parte de los trabajos que se pagan por adelantado, como podría ser el caso de los pagos por acopios de materiales, entonces las inversas de estas reglas podrían ser beneficiosas. Por ejemplo, la regla 75/25 podría especificar que el 75 % del valor sería considerado ganado cuando el equipo se entrega, y la cantidad restante se pagaría cuando se hubieran completado la instalación, las pruebas y la puesta en servicio.

## 2.7. Implementación del EVM

El método del valor ganado está aceptado como una técnica teórica para el control de proyectos, pero su implementación en proyectos reales plantea complicaciones [23] que plantean retos de investigación. Algunos de los resultados de investigación han dado lugar a patentes que describen distintas formas de aplicar el método. En este sentido, se han propuesto sistemas que simulan la ejecución del proyecto antes de crear una versión operativa con la que trabajar para calcular el valor ganado [38].

También se han propuesto formas de gestión basadas en representaciones gráficas de las medidas de rendimiento, tanto de los trabajos del proyecto como de aquellos que no le corresponden, y que contempla los valores de los costes planificados y del coste real en los momentos de control [6]. Otros trabajos presentan alternativas para monitorizar y evaluar el rendimiento de un proyecto basándose en el valor ganado y utilizando aplicaciones software [33], y teniendo en cuenta la participación de contratistas en proyectos complejos [17]. Asimismo, se han buscado formas de simplificar la gran cantidad de información que viene asociada a un proyecto, construyendo herramientas gráficas para visualizar su estado, desde la representación de la evolución de los elementos del EVM hasta la visualización tridimensional de las medidas de rendimiento [40].

Se ha utilizado el valor ganado para obtener predicciones fiables del coste final de los trabajos, así como de su duración, a partir del valor de la planificación ganada, con el objeto de ayudar a los gestores durante el proceso de

toma de decisiones [1, 8]. En esta línea, hay modelos que plantean calcular las previsiones de costes en función de la evolución de los resultados económicos [37], o que aplican el método a partir de los valores reales de costes y tiempos de ejecución, y de los beneficios reales que se van obteniendo a medida que avanza el proyecto [22], comparándolos con las previsiones para tomar acciones correctoras dirigidas a aumentar tanto el rendimiento como los beneficios económicos (BEVM, *benefit-based EVM*).

También hay propuestas para evaluar el progreso en términos de la planificación [44], calculando un índice de rendimiento de la planificación ganada (ESPI, *earned schedule performance index*) a partir de los valores del tiempo previsto inicialmente y del realmente utilizado para obtener el valor ganado actual [36]. Otros trabajos proponen utilizar información del camino crítico para mejorar las prestaciones del EVM [47].

En cuanto a ejemplos de utilización se refiere, se pueden citar, entre otros muchos, su aplicación al control de proyectos de instalaciones eléctricas [20], a proyectos de construcción en la provincia china de Jiangsu [25], la construcción de un corredor de metro en la India [39], o de una línea de ferrocarril en Malasia [27, 35].



# Capítulo 3

## Metodología aplicada a proyectos de instalaciones de alta velocidad

### 3.1. Introducción

La aplicación de la metodología del valor ganado en un proyecto exige realizar un seguimiento periódico de las tareas involucradas y que están definidas en la planificación inicial. Este seguimiento permite conocer el estado del proyecto en los puntos de control, que son los instantes temporales en que se muestra el avance de los diferentes trabajos. A partir de la información que describe el estado del proyecto se obtienen indicadores del rendimiento de los trabajos que permiten tomar decisiones de planificación, en el sentido de mantener la planificación inicial o actualizarla para corregir problemas de rendimiento de los trabajos.

La implantación de esta metodología presenta algunas dificultades en el

caso de los proyectos de instalaciones ferroviarias, especialmente si se trata de trenes de alta velocidad, en los que las instalaciones son especialmente complejas:

1. Los trabajos están distribuidos de manera uniforme a lo largo de grandes longitudes de terreno, que coinciden con el trazado de la vía. Este hecho dificulta la toma de datos relativa al avance real de las obras en la medida que la financiación necesaria para realizar una inspección periódica completa queda fuera de lo posible.
2. El trazado de la vía se puede considerar dividido en tramos, en cada uno de los cuales pueden estar ejecutándose uno o más subproyectos simultáneamente.
3. La adquisición de información fiable sobre el estado de los trabajos es una labor muy lenta, puesto que es necesario inspeccionar las labores de todos los subproyectos de todos los tramos. Este problema se ve agravado cuando el equipo de control y planificación está compuesto por pocas personas — situación muy frecuente, por otra parte.
4. La información que se puede obtener de forma rápida no es completamente fiable y siempre tiene un nivel de incertidumbre, lo que puede afectar negativamente a las decisiones del gestor de proyecto.
5. Los métodos clásicos de replanificación requieren mucho esfuerzo en este tipo de proyectos, que constan de multitud de subproyectos y gran número de relaciones de dependencias entre las diferentes tareas. Ade-

más, una replanificación de los trabajos puede contemplar no solamente la adición de equipos de trabajo, sino también cambios en el orden de ejecución, en las relaciones de dependencia e incluso la incorporación de nuevas tareas.

6. Con la información disponible, fiable o no, se toman decisiones sobre la evolución futura de los trabajos, que han de poder implantarse con carácter inmediato en todos los subproyectos y en todos los tramos a los que afecten.
7. Las decisiones de gestión y las labores de replanificación, cuando sean necesarias, han de incorporarse antes del siguiente punto de control, y con suficiente antelación como para que se pueda evaluar si esas decisiones están teniendo un impacto positivo en el rendimiento del proyecto. Retrasar la implantación de actuaciones puede dar lugar a que las labores de control no sean efectivas en absoluto.

En este capítulo se propone una metodología de gestión de proyectos de instalaciones ferroviarias basada en el método EVM, pero modificando los parámetros de medida del rendimiento para adecuarlos a la información disponible en los puntos de control.

### **3.2. Estructura de descomposición del proyecto**

Un proyecto de instalaciones ferroviarias se puede descomponer en un conjunto de subproyectos, que se representan mediante la EDP (WBS, Work



**Figura 3.1:** Estructura de descomposición de un proyecto de instalaciones ferroviarias

Breakdown Structure) o estructura de descomposición del proyecto que se muestra en la figura 3.1. Los trabajos de la EDP incluyen los sistemas de señalización, los de protección al tren, los sistemas de comunicaciones fijas, los auxiliares de detección, el sistema centralizado de control de tráfico, el de suministro de energía, la construcción de los edificios técnicos, y el sistema de telecomunicaciones móviles – GSM-R.

Cada una de las partes en que se descompone el proyecto da lugar a un conjunto de fichas que describen cada uno de los componentes, y que conforman el diccionario de la EDP. Las figuras 3.2 a 3.9 muestran ejemplos de las fichas que componen un diccionario EDP de este tipo de proyectos.

### 3.2.1. Sistemas de señalización

Los sistemas de señalización se encargan de proporcionar información al maquinista acerca del estado de la vía. Todo tramo ferroviario está dividido en enclavamientos electrónicos (ENCEs). Cada ENCE se encarga de realizar y asegurar el control de los elementos instalados en campo (señales, motores, circuitos de vía, etc.), de establecer las rutas y de controlar las maniobras de

Proyecto de Instalaciones Ferroviarias	
ID de subproyecto:	ENCE
Nombre de subproyecto:	Sistemas de Señalización
Descripción:	Los sistemas de señalización se encargan de proporcionar información al maquinista acerca del estado de la vía. Todo tramo ferroviario está dividido en enclavamientos electrónicos (ENCEs). Cada ENCE se encarga de realizar y asegurar el control de los elementos instalados en campo (señales, motores, circuitos de vía, etc.), de establecer las rutas y de controlar las maniobras de los trenes que pertenecen a su ámbito de control. Se colocan en las estaciones, apartaderos y en aquellas bifurcaciones en donde sea necesario.
Asignado a:	Jefe de proyecto de señalización
Departamento/Contrata:	Empresa adjudicataria
Fecha de inicio:	Según contrato
Fecha de fin:	Según contrato
Coste previsto:	Según previsión inicial
Criterios de aceptación:	Entrega y recepción de obra por el cliente
Recursos asignados:	jefe de Ingeniería, jefe de Obra, Jefe de Contabilidad, Responsable de Calidad, responsable de Seguridad, responsable de Medioambiente y responsable de RAMS ( <i>Reliability Availability Maintainability and Safety</i> ). El resto de recursos los aportan las subcontratas encargadas de ejecutar los trabajos.
Entregables:	Informe positivo de pruebas de señalización realizadas según la normativa de seguridad ferroviaria.

**Figura 3.2:** Diccionario EDP. Ficha del subproyecto de sistemas de señalización

los trenes que pertenecen a su ámbito de control. Se colocan en las estaciones, apartaderos y en aquellas bifurcaciones en donde sea necesario. Esta división en enclavamientos tiene como ventaja que permite realizar la puesta en servicio parcial de una línea ferroviaria mediante las puestas en servicio de los diferentes enclavamientos por separado.

### 3.2.2. Sistemas de protección al tren

Hay tres sistemas que garantizan la protección del tren: el sistema de Anuncio de Señales y Frenado Automático (ASFA), el Sistema Europeo de Gestión

de Tráfico Ferroviario y de Control del Tren (ERTMS/ETCS), y el sistema LZB, de supervisión continua del tramo de línea.

### **Sistema ASFA**

El sistema de Anuncio de Señales y Frenado Automático es un sistema de protección basado en el envío de información al tren sobre el estado de cada señal en cada momento. El sistema se compone de dos conjuntos de equipos, uno instalado en vía (ASFA VÍA) y otro embarcado a bordo del material rodante (ASFA BORDO). El equipo ASFA VÍA está formado por balizas y cajas interfaces (cajas I/F). Las cajas I/F reciben la información del aspecto de la señal de cada una de las señales laterales luminosas, trasladando posteriormente ese conocimiento a sus balizas asociadas. Esa información es transmitida por las balizas de forma puntual y de manera acústica al equipo ASFA BORDO al paso del tren, debiendo el maquinista actuar. En caso de ausencia de actuación, el sistema ASFA pone en funcionamiento el freno de emergencia para detener el tren.

### **Sistema ERTMS/ETCS**

El sistema ERTMS/ETCS (*European Railway Traffic Management System / European Train Control System*) es un sistema compuesto por dos subsistemas: el subsistema del tren, y el subsistema de vía. A su vez, existen dos niveles ERTMS/ETCS.

El sistema ERTMS/ETCS de Nivel 1 está basado en el envío de informaciones puntuales al tren mediante eurobalizas. El sistema está formado por: Co-

dificadores (LEUs, *Lineside Electronic Units*), Controladores de LEUs Centralizados (CLCs) ubicados en cabina, Eurobalizas fijas y conmutables de Nivel 1 situadas en campo, y los interfaces ERTMS de comunicación de datos con el puesto central a través del enclavamiento. Los LEUs obtienen información del estado de la señalización a través del enclavamiento. Esa información es procesada para generar telegramas con autoridades de movimiento que son posteriormente trasladadas a las eurobalizas conmutables, que son las encargadas de enviar los telegramas al equipo embarcado. A partir de las órdenes recibidas en el equipo embarcado, el tren podrá continuar circulando una determinada distancia, generándose una curva de frenado que el tren deberá cumplir. Esa orden es válida hasta que el tren pase por encima de otra baliza, ya que la información será actualizada en ese momento, generándose unos nuevos telegramas y nuevas órdenes de movimiento. La transmisión de información avanzada se realiza a partir de eurobalizas conmutables, *infill*, que consiguen mejorar los intervalos existentes entre los trenes. El ENCE y las LEUs se comunican entre sí por medio de la Red Privada de Señalización, que es una red redundante de seguridad encargada de portar la información de señalización para todos los sistemas que intervienen en la línea.

En el Nivel 2 del ERTMS, las autorizaciones se transmiten a los trenes a través de un sistema de radiofrecuencia, siendo en este caso las balizas las encargadas de reposicionar al tren, esto es transmitir al ENCE la situación geográfica exacta en la que se encuentra el tren. La información acerca del estado de la vida se recibe de manera constante y el tren circularía en base a la información de señales virtuales.

El elemento principal del Sistema ERTMS de nivel 2 es el Centro de Bloqueo por Radio (RBC, *Radio Block Center*). El RBC se encarga de gestionar las funciones de seguridad del tren, proporcionando de forma segura las autorizaciones de movimiento a los trenes que tiene bajo su control. El área de control de un RBC se corresponde con todo el tramo de vía del que recibe información a través del enclavamiento y del que, por lo tanto, tiene información y conocimiento constante acerca del estado de las señales.

El sistema de ERTMS/ETCS se puede gobernar, fundamentalmente, de dos maneras:

- Desde el Puesto de Operación Local de ERTMS (PLO-E), que permite gobernar el sistema mediante el uso de los dispositivos de introducción de mandos a nivel local.
  
- Desde un Puesto Central de ERTMS (PCE), integrado en un Centro de Regulación y Control (CRC). El control de la instalación se realiza a través de funciones del telemando.

El equipo cuenta con un Sistema de Ayuda al Mantenimiento de ERTMS (SAM-R) que permite la reconstrucción de eventos pasados. Este sistema está formado por: SAM-R Central y SAM-R Locales. El SAM-R Central tiene las mismas características que cada uno de los SAM-R Locales, pero para cada uno de los elementos de la línea, lo que permite priorizar el acceso a determinadas zonas en función de los permisos de cada usuario.

### Sistema LZB

El sistema LZB (*Linienzugbeeinflussung*) permite supervisar de forma continua el estado del tren que precede al que se protege. Es, además, un sistema de respaldo del sistema ERTMS/ETCS en Nivel 1 y se basa en el intercambio de información entre los equipos de campo y los equipos embarcados de los vehículos. La información entre ambos se transmite de manera continua y se realiza por medio de un cable de alta frecuencia (cable de vía) que funciona a modo de antena. Esta información consiste en telegramas que se generan para mostrar los distintos aspectos de las señales, y que se envían de manera periódica, en función del estado de la vía.

Cada central de mando de LZB se comunica con su enclavamiento y con los armarios de LZB instalados en campo. A partir de los datos correspondientes a la longitud del tren, la velocidad máxima del tren y el porcentaje y régimen de frenado, y con las indicaciones que llegan del equipo de medida de recorrido y velocidad, la unidad de proceso del equipo LZB del vehículo determina en cada momento el valor válido para la velocidad teórica.

#### 3.2.3. Sistemas de comunicaciones fijas

El Sistema de Telecomunicaciones Fijas presta soporte y servicios de comunicaciones a la operación, gestión, mantenimiento y administración de la línea ferroviaria.

Se estructura sobre la base de 3 niveles jerárquicos:

- Nivel Físico: Lo forman las redes de cable, fundamentalmente de fibra

Proyecto de Instalaciones Ferroviarias	
ID de subproyecto:	SPT
Nombre de subproyecto:	Sistemas de Protección del Tren
Descripción:	Implantación de los tres sistemas de protección del tren: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ASFA (Anuncio de Señales y Frenado Automático)</li> <li>• ERTMS/ETCS (Sistema Europeo de Gestión de Tráfico Ferroviario y de Control del Tren)</li> <li>• LZB, de supervisión continua del tramo de línea.</li> </ul>
Asignado a:	Jefe de proyecto de sistemas de protección del tren
Departamento/Contrata:	Empresa adjudicataria
Fecha de inicio:	Según contrato
Fecha de fin:	Según contrato
Coste previsto:	Según previsión inicial
Criterios de aceptación:	Entrega y recepción de obra por el cliente
Recursos asignados:	jefe de Ingeniería, jefe de Obra, Jefe de Contabilidad, Responsable de Calidad, responsable de Seguridad, responsable de Medioambiente y responsable de RAMS ( <i>Reliability Availability Maintainability and Safety</i> ). El resto de recursos los aportan las subcontratas encargadas de ejecutar los trabajos.
Entregables:	Informe positivo de pruebas de sistemas de protección del tren realizadas según la normativa de seguridad ferroviaria.

**Figura 3.3:** Diccionario EDP. Ficha del subproyecto de sistemas de protección del tren

óptica, que soportan el medio de transmisión físico.

- Nivel de Transmisión. Lo integran aquellas redes que soportan las comunicaciones de interconexión entre los distintos centros de la línea, y da el soporte de transmisión para redes de conmutación de circuitos o de paquetes, tanto internas como externas al sistema de Telecomunicaciones Fijas con las que se interconecta, tales como:
  - Red de Transporte SDH
  - Red de Acceso SDH
  - Red IP basada en la tecnología Gigabit Ethernet sobre fibra óptica con facilidades *switched-routing* (Red IP de agregación redundante GbEth sobre FO)
- Nivel de Conmutación. Proporciona comunicaciones específicas para los diferentes sistemas:
  - Red de Servicios de Voz o Centrales IP (*Call Server*)
  - Nodos Remotos IP
  - Nodos
  - Estantes Remotos IP
  - Terminales telefónicos

Las redes de datos de comunicaciones utilizadas son las siguientes:

- Red de datos Multiservicios. Proporciona conectividad IP/Eth en los diferentes puntos de la línea.

- Red de Datos de Operación y Tiempo Real (ROTR). Es una red en tiempo real encargada de la comunicación entre ENCE - CTC - PRO.
- Red de Datos PRO-PCI. Es una red de comunicaciones específica para señalización que dota de comunicación a los equipos PCI de los enclavamientos con su PRO.
- Red de Datos Privada de Señalización. Es una red de comunicaciones específica para señalización, que comunica los enclavamientos y el sistema ERTMS/ETCS entre sí.
- Red de Datos de Sensores. Es una red de comunicaciones específica para los sistemas Auxiliares de Detección, concentrando el tráfico de sensores de la vía en los enclavamientos.

#### **3.2.4. Sistemas auxiliares de detección**

Los diferentes sistemas auxiliares de detección son los encargados de supervisar el estado óptimo del trazado y de las infraestructuras. Se debe supervisar en cada momento:

- Las condiciones del trazado e infraestructura
- Las condiciones medioambientales
- El estado de los trenes

La información generada por cada uno de los sistemas auxiliares de detección es procesada y gestionada por el concentrador de detectores de seguridad, ges-

Proyecto de Instalaciones Ferroviarias	
ID de subproyecto:	SCF
Nombre de subproyecto:	Sistemas de Comunicaciones Fijas
Descripción:	<p>Instalación y puesta en funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones fijas necesarias para el resto de subproyectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Red de datos Multiservicios</li> <li>• Red de Datos de Operación y Tiempo Real (ROTR)</li> <li>• Red de Datos PRO-PCI</li> <li>• Red de Datos Privada de Señalización</li> <li>• Red de Datos de Sensores</li> </ul>
Asignado a:	Jefe de proyecto de sistemas de comunicaciones fijas
Departamento/Contrata:	Empresa adjudicataria
Fecha de inicio:	Según contrato
Fecha de fin:	Según contrato
Coste previsto:	Según previsión inicial
Criterios de aceptación:	Entrega y recepción de obra por el cliente
Recursos asignados:	jefe de Ingeniería, jefe de Obra, Jefe de Contabilidad, Responsable de Calidad, responsable de Seguridad, responsable de Medioambiente y responsable de RAMS ( <i>Reliability Availability Maintainability and Safety</i> ). El resto de recursos los aportan las subcontratas encargadas de ejecutar los trabajos.
Entregables:	Informe positivo de pruebas de sistemas de comunicaciones fijas realizadas según la normativa de seguridad ferroviaria.

**Figura 3.4:** Diccionario EDP. Ficha del subproyecto de sistemas de comunicaciones fijas

tionando la información hacia el Enclavamiento y hacia el sistema de Telemando de Detectores . Los detectores que envían la información al concentrador de detectores son:

- Detectores de Caídas de Objetos (DCO) a la vía, situados en los pasos superiores y falsos túneles.
- Detectores de Cajas Calientes y frenos agarrotados (DCC). Detecta condiciones peligrosas durante la explotación en el material rodante móvil.
- Detectores de Objetos Arrastrados (DOA). Detecta los impactos de objetos arrastrados. Cuando un objeto golpea algún sensor con una fuerza superior a un determinado umbral, se activa un circuito que actúa sobre el módulo de interfaz por relés, y el equipo evaluador interpreta la señal del módulo de interfaz enviando un mensaje de alarma al CRC.
- Detectores de Viento Lateral (DVL). A lo largo de la traza se encuentran instaladas estaciones meteorológicas que efectúan una toma continua de datos que posibilitan la realización de predicciones que permiten calcular el cálculo de la velocidad del viento. Estos datos se trasladan en tiempo real al CRC.
- Detectores de Comportamiento Dinámico de Pantógrafo (DCDP).
- Detectores de Impactos Verticales (DIV).
- Detectores de Incendio en Túneles (DIT).

Proyecto de Instalaciones Ferroviarias	
ID de subproyecto:	SAD
Nombre de subproyecto:	Sistemas Auxiliares de Detección
Descripción:	<p>Instalación y puesta en funcionamiento de los sistemas auxiliares de detección:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detectores de Caídas de Objetos a la vía, situados en los pasos superiores y falsos túneles</li> <li>• Detectores de Cajas Calientes y frenos agarrotados.</li> <li>• Detectores de Objetos Arrastrados</li> <li>• Detectores de Viento Lateral</li> <li>• Detectores de Comportamiento Dinámico de Pantógrafo</li> <li>• Detectores de Impactos Verticales</li> <li>• Detectores de Incendio en Túneles</li> </ul>
Asignado a:	Jefe de proyecto de sistemas auxiliares de detección
Departamento/Contrata:	Empresa adjudicataria
Fecha de inicio:	Según contrato
Fecha de fin:	Según contrato
Coste previsto:	Según previsión inicial
Criterios de aceptación:	Entrega y recepción de obra por el cliente
Recursos asignados:	jefe de Ingeniería, jefe de Obra, Jefe de Contabilidad, Responsable de Calidad, responsable de Seguridad, responsable de Medioambiente y responsable de RAMS ( <i>Reliability Availability Maintainability and Safety</i> ). El resto de recursos los aportan las subcontratas encargadas de ejecutar los trabajos.
Entregables:	Informe positivo de pruebas de sistemas auxiliares de detección realizadas según la normativa de seguridad ferroviaria.

**Figura 3.5:** Diccionario EDP. Ficha del subproyecto de sistemas auxiliares de detección

### **3.2.5. Sistema centralizado de control de tráfico**

El sistema centralizado de control de tráfico (CTC, *Centralized Traffic Control*) es responsable de realizar la supervisión y control de los enclavamientos situados dentro de su ámbito de control.

El CTC está formado por los siguientes módulos básicos:

- FEC (*Front-end* de Comunicaciones). Este módulo de comunicaciones se encarga de recoger la información del Puesto de Comunicaciones Intermedio, PCI, de cada enclavamiento, que es el módulo integrado en el enclavamiento que se encarga de gestionar las comunicaciones con él.
- Servidor de Datos, SRV (*Server*): Se trata de un sistema que facilita la supervisión de las operaciones y del funcionamiento conjunto de todo el sistema. Su misión consiste en trasladar la información a las interfaces gráficas, canalizar las órdenes solicitadas por los diferentes usuarios, realizar la lógica de seguimiento de circulaciones, etc. El servidor de datos SRV se comunica con el módulo FEC con el fin de recibir y transmitir información de y hacia el enclavamiento.

### **3.2.6. Suministro de energía**

El suministro de energía a los equipos se efectúa desde los Edificios Técnicos y Casetas de Señalización. Para asegurar que el suministro se produzca de manera continuada, esto es, que no se produzcan cortes, se cuenta con un sistema redundante formado por: Alimentación a los Edificios Técnicos y Casetas de señalización desde catenaria, grupos electrógenos y acometidas

Proyecto de Instalaciones Ferroviarias	
ID de subproyecto:	CTC
Nombre de subproyecto:	Sistema Centralizado de Control de Tráfico
Descripción:	<p>Instalación y puesta en funcionamiento del sistema centralizado de control de tráfico, que consta de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Módulo de comunicaciones para recoger la información del puesto de comunicaciones intermedio, PCI, de cada enclavamiento</li> <li>• Servidor de datos que se comunica con el módulo de comunicaciones y que se encarga de trasladar la información a las interfaces gráficas, canalizar las órdenes solicitadas por los diferentes usuarios, realizar la lógica de seguimiento de circulaciones, etc.</li> </ul>
Asignado a:	Jefe de proyecto de sistema centralizado de control de tráfico
Departamento/Contrata:	Empresa adjudicataria
Fecha de inicio:	Según contrato
Fecha de fin:	Según contrato
Coste previsto:	Según previsión inicial
Criterios de aceptación:	Entrega y recepción de obra por el cliente
Recursos asignados:	jefe de Ingeniería, jefe de Obra, Jefe de Contabilidad, Responsable de Calidad, responsable de Seguridad, responsable de Medioambiente y responsable de RAMS ( <i>Reliability Availability Maintainability and Safety</i> ). El resto de recursos los aportan las subcontratas encargadas de ejecutar los trabajos.
Entregables:	Informe positivo de pruebas del sistema centralizado de control de tráfico realizadas según la normativa de seguridad ferroviaria.

**Figura 3.6:** Diccionario EDP. Ficha del subproyecto CTC

Proyecto de Instalaciones Ferroviarias	
ID de subproyecto:	SE
Nombre de subproyecto:	Suministro de Energía
Descripción:	<p>Instalación y puesta en funcionamiento del sistema de suministro de energía a los equipos desde los edificios técnicos y las casetas de señalización, garantizando que no se produzcan cortes. El sistema será redundante y está formado por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentación a Edificios Técnicos y Casetas de señalización desde catenaria, con grupos electrógenos y acometidas locales como métodos de suministro alternativos</li> <li>• Instalación de Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI)</li> <li>• Suministro de energía de 750 V desde los edificios y casetas técnicas y casetas de señalización para alimentar a los equipos instalados a lo largo de toda la vía.</li> </ul>
Asignado a:	Jefe de proyecto de suministro de energía
Departamento/Contrata:	Empresa adjudicataria
Fecha de inicio:	Según contrato
Fecha de fin:	Según contrato
Coste previsto:	Según previsión inicial
Criterios de aceptación:	Entrega y recepción de obra por el cliente
Recursos asignados:	jefe de Ingeniería, jefe de Obra, Jefe de Contabilidad, Responsable de Calidad, responsable de Seguridad, responsable de Medioambiente y responsable de RAMS ( <i>Reliability Availability Maintainability and Safety</i> ). El resto de recursos los aportan las subcontratas encargadas de ejecutar los trabajos.
Entregables:	Informe positivo de pruebas de suministro de energía realizadas según la normativa de seguridad ferroviaria.

**Figura 3.7:** Diccionario EDP. Ficha del subproyecto de suministro de energía

locales como métodos de suministro alternativos.; instalación de Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI); y suministro de energía de 750 V desde los edificios y casetas técnicas y casetas de señalización para alimentar a los equipos instalados a lo largo de toda la vía.

### 3.2.7. Edificios técnicos y casetas de señalización

Son los emplazamientos donde se montan y conexionan los equipos de cabina correspondientes a los diferentes subproyectos o técnicas. Los edificios

Proyecto de Instalaciones Ferroviarias	
ID de subproyecto:	ET
Nombre de subproyecto:	Edificios Técnicos y Casetas de Señalización
Descripción:	Construcción y puesta en servicio de los edificios técnicos y de las casetas de señalización, que son los emplazamientos donde se montan y conectan los equipos de cabina correspondientes a las diferentes técnicas o subproyectos. Estos edificios y casetas se construyen a lo largo de la línea férrea, y están distribuidos y dimensionados en función de la situación y de la cantidad de elementos presentes a lo largo de la traza: aparatos de vía, enclavamientos, bifurcaciones, etc.
Asignado a:	Jefe de proyecto de edificios técnicos y casetas de señalización
Departamento/Contrata:	Empresa adjudicataria
Fecha de inicio:	Según contrato
Fecha de fin:	Según contrato
Coste previsto:	Según previsión inicial
Criterios de aceptación:	Entrega y recepción de obra por el cliente
Recursos asignados:	jefe de Ingeniería, jefe de Obra, Jefe de Contabilidad, Responsable de Calidad, responsable de Seguridad y responsable de Medioambiente. El resto de recursos los aportan las subcontratas encargadas de ejecutar los trabajos.
Entregables:	Informe positivo de pruebas de los edificios técnicos y de las casetas de señalización realizadas según la normativa de seguridad ferroviaria.

**Figura 3.8:** Diccionario EDP. Ficha del subproyecto de edificios técnicos

técnicos y casetas se construyen lo largo de la línea distribuidos y dimensionados en función de la situación y de la cantidad de elementos presentes a lo largo de la traza: aparatos de vía, enclavamientos, bifurcaciones, etc.

### 3.2.8. Sistema de telecomunicaciones móviles – GSM-R

El sistema GSM-R (*Global System for Mobile Communications - Railway*) proporciona comunicación de voz entre el jefe de circulación y el tren. Cuando el tren circula bajo el control del sistema ERTMS/ETCS de Nivel 2, las telecomunicaciones móviles son el soporte de transmisión de datos entre el equipo

Proyecto de Instalaciones Ferroviarias	
ID de subproyecto:	GSM-R
Nombre de subproyecto:	Sistema de Telecomunicaciones Móviles
Descripción:	Instalación y puesta en funcionamiento del sistema de telecomunicaciones móviles. El sistema GSM-R ( <i>Global System for Mobile Communications - Railway</i> ) proporciona comunicación de voz entre el jefe de circulación y el tren. Cuando el tren circula bajo el control del sistema ERTMS/ETCS de Nivel 2, las telecomunicaciones móviles son el soporte de transmisión de datos entre el equipo de cabina y el centro de bloqueo por radio o RBC. La cobertura de red GSM-R en la línea se consigue a través de Estaciones Base Transceptoras (BTS, <i>Base Transceiver Station</i> ) que se encuentran distribuidas a lo largo del recorrido.
Asignado a:	Jefe de proyecto del sistema de telecomunicaciones móviles
Departamento/Contrata:	Empresa adjudicataria
Fecha de inicio:	Según contrato
Fecha de fin:	Según contrato
Coste previsto:	Según previsión inicial
Criterios de aceptación:	Entrega y recepción de obra por el cliente
Recursos asignados:	jefe de Ingeniería, jefe de Obra, Jefe de Contabilidad, Responsable de Calidad, responsable de Seguridad, responsable de Medioambiente y responsable de RAMS ( <i>Reliability Availability Maintainability and Safety</i> ). El resto de recursos los aportan las subcontratas encargadas de ejecutar los trabajos.
Entregables:	Informe positivo de pruebas del sistema de telecomunicaciones móviles realizadas según la normativa de seguridad ferroviaria.

**Figura 3.9:** Diccionario EDP. Ficha del subproyecto GSM-R

de cabina y el centro de bloqueo por radio o RBC. La cobertura de red GSM-R en la línea se consigue a través de las diferentes Estaciones Base Transceptoras (BTS, *Base Transceiver Station*) que se encuentran distribuidas a lo largo del recorrido.

### 3.3. Estructura de descomposición de la organización

Antes del inicio de los trabajos se acuerda entre las diferentes empresas participantes en el proyecto, un órgano de dirección y toma de decisiones, y se

establece una estructura de descomposición de la organización (EDO) con el objeto de ejecutar de forma ordenada y adecuada los trabajos del proyecto. Es importante reseñar que a partir de un determinado nivel de la EDP, el desarrollo de los trabajos escapan del control de nuestra organización, por lo que será la propia contrata quien tendrá que desarrollar no solamente ese paquete de trabajo, sino también su propia estructura organizativa.

### **3.3.1. Organigrama general**

La estructura de descomposición de la organización que se propone es la representada en el organigrama general de la figura 3.10, en la que sus diferentes miembros tienen diferentes responsabilidades, tal como se indica a continuación:

1. Gerente. Es el responsable de la gestión del proyecto en los términos de calidad, precio, y plazo señalados en el contrato. Asimismo, es el representante de la organización y principal interlocutor ante el contratista, siendo su disponibilidad a las obras permanente, desde el inicio de los trabajos hasta su recepción.
2. Jefe de administración. En dependencia del gerente, es el responsable de los estados financieros. Elabora, centraliza y controla la información financiera y contable del contrato. Junto al Gerente y al Jefe de Planificación colabora en la elaboración del presupuesto.
3. Jefe de planificación. Depende del gerente y su misión es la de organizar y gestionar la ejecución del contrato desde el punto de vista tanto

de plazos como económicos. Debe elaborar estimaciones que permitan pronosticar el desarrollo futuro del proyecto y establecer, de ser necesario, líneas de acción alternativas para alcanzar los objetivos de costos y plazos.

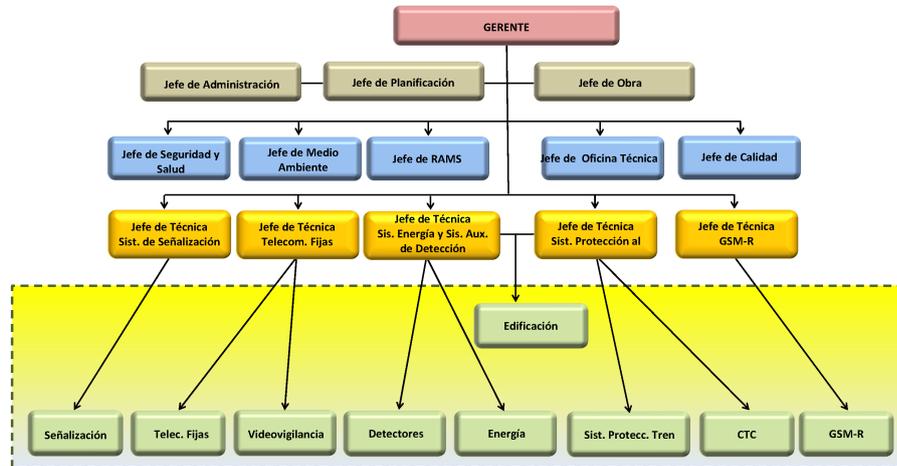
4. Jefe de obra. Es el responsable de coordinar las actividades de obra de las diferentes técnicas y así mejorar la gestión en la ejecución del proyecto. Depende del gerente y debe mantener una relación permanente con los diferentes jefes de técnica. Participa en el proceso de fabricación de elementos para el contrato proporcionando especificaciones necesarias y resolviendo las dudas o conflictos relacionados con las mismas que pudieran surgir en el proceso. Es el responsable de confirmar que todas las tareas se realizan conforme a lo especificado en el proyecto constructivo.
5. Jefe de seguridad y salud. Depende del gerente y tiene responsabilidad de asegurar que las actuaciones en materia de Seguridad y Salud del proyecto sean controladas e implantadas en obra. Es el responsable de asegurar la realización de un Plan de Seguridad y Salud específico para el proyecto y vigilar que se cumpla durante todo el período que dure el contrato.
6. Jefe de coordinación de medioambiente. Depende del gerente y, en coordinación con el jefe de obra, asegurará que las actuaciones en materia de medioambiente se realicen en obra. Es el responsable de asegurar la implantación, del Plan de Gestión Ambiental específico para el proyecto,

con la finalidad de que el proyecto se realice con el menor impacto ambiental posible y aplicando las mejores prácticas ambientales durante la ejecución del mismo.

7. Jefe de coordinación de los sistemas de calidad. En dependencia del Gerente asegurará que se realicen en la obra todas las actuaciones de control de calidad, siendo el responsable de la presentación, en el plazo requerido, de un plan de autocontrol de calidad específico para el proyecto que permita a la organización una sistemática y rigurosa actividad de control y aseguramiento de la calidad.
8. Jefe de la oficina técnica. En dependencia del Gerente, se responsabiliza de la realización, la gestión y la correcta distribución de la documentación generada durante la ejecución del proyecto. Coordina a las diferentes técnicas implicadas en el proyecto para que la integración entre ellas provoque el menor número de conflictos.
9. Jefe de RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*). En dependencia del Director del Gerente, será el responsable de vigilar la solución técnica del Proyecto y los requisitos a considerar en cuanto a la fiabilidad, disponibilidad, seguridad, y mantenibilidad de los sistemas.

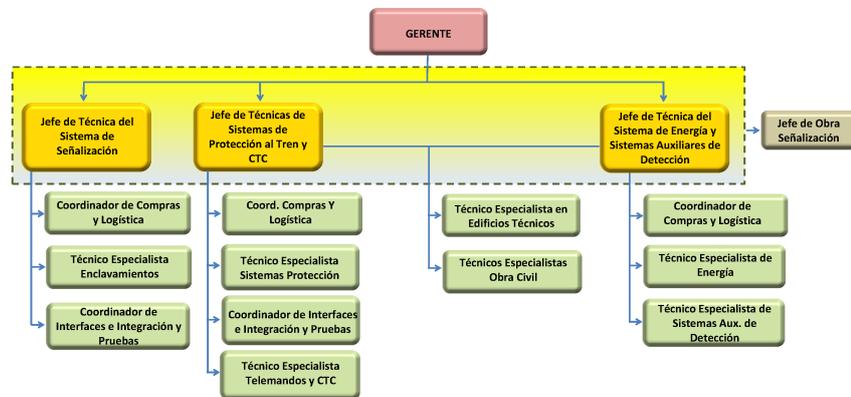
### **3.3.2. Organigrama de control de tráfico**

El organigrama general se detalla para aquellos subproyectos que están encaminados a los aspectos de control de tráfico ferroviario (figura 3.11), y que incluyen las siguientes competencias y dependencias:



**Figura 3.10:** EDO. Organigrama general

1. Jefes de técnica. En coordinación con el jefe de planificación y en dependencia directa del gerente, un jefe de técnica es el responsable de que las instalaciones se completen en los plazos, con el presupuesto establecido y con la calidad técnica y funcional requerida. Es el responsable, para su técnica, de las actividades relativas a las instalaciones, compras, logística, pruebas y puesta en servicio, calidad y seguridad y salud laboral, en los términos estipulados en el proyecto.
2. Coordinador de Compras y Logística. En dependencia del jefe de técnica, y en colaboración con el jefe de obra, es el coordinador para su técnica de la adquisición de materiales, equipos y servicios externos necesarios para la realización del proyecto. Será el responsable de controlar los plazos de entrega y los precios. La gestión de inventarios la realizará en función de las necesidades de la obra.



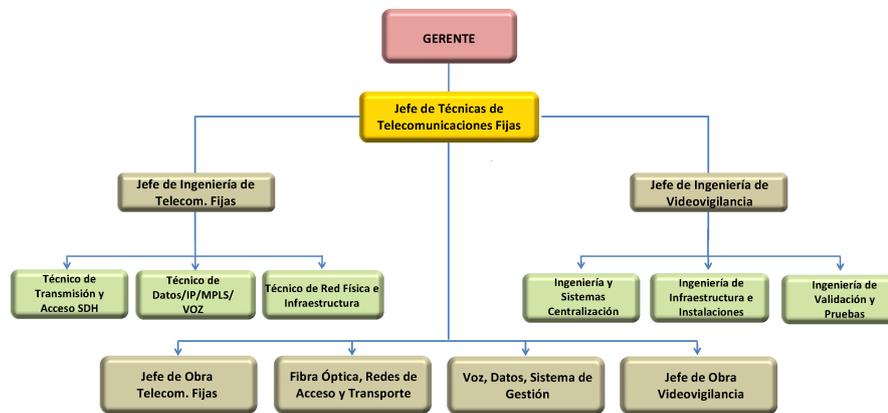
**Figura 3.11:** EDO: señalización, CTC y detección

3. **Técnicos Especialistas.** En dependencia de los jefes de técnica, los técnicos especialistas son los responsables de la coordinación, supervisión y gestión de las áreas de ingeniería que se integran en cada técnica, así como de la supervisión de la realización, control de configuración, distribución de planos y documentación del proyecto.
4. **Coordinadores de interfaces e integración y pruebas.** En dependencia del coordinador de ingeniería, el coordinador de interfaces e integración y pruebas está encargado de gestionar las interfaces necesarias para los sistemas que forman parte de su técnica, analizando los riesgos en las distintas interfaces, verificando el grado de cumplimiento de los requisitos del proyecto y realizando toda la ingeniería asociada a los interfaces. Será el responsable de coordinar y definir todos los procesos de las pruebas y puesta en servicio de las instalaciones de su técnica, según lo estipulado en el contrato y en el proyecto constructivo.

### **3.3.3. Organigrama de telecomunicaciones fijas**

En cuanto al subproyecto de telecomunicaciones fijas, las responsabilidades y relaciones de dependencia entre los miembros de la organización implicados, y representados en el organigrama de la figura 3.12, son los que se indican a continuación:

1. Jefe de ingeniería de telecomunicaciones fijas. En dependencia del jefe de técnica, es el responsable de dirigir y coordinar el equipo de ingeniería de sistemas que diseña los distintos subsistemas, asegurando la coherencia del diseño no solamente entre los diferentes subsistemas que conforman la red sino también con los sistemas externos pertenecientes a otras técnicas.
2. Técnico de transmisión y acceso SDH. En dependencia del jefe de ingeniería, es el responsable de coordinar las actividades del proyecto referentes a los equipos de las redes de transmisión y acceso.
3. Técnico de redes de datos/IP/IMPLS y voz. En dependencia del jefe de técnica, es el encargado de coordinar las actividades del proyecto referentes a los equipos de las redes de conmutación de voz y datos.
4. Técnico de red física e infraestructura. Depende del jefe de técnica y se encarga de coordinar las actividades del proyecto referentes a los equipos de la red física y de la infraestructura (fibra óptica, supervisión de fibra óptica, energía, obra civil).
5. Ingeniería y sistemas de centralización. En dependencia del jefe de téc-



**Figura 3.12:** EDO: *Telecomunicaciones fijas*

nica, es el encargado de coordinar las actividades del proyecto referentes a los equipos de la técnica de circuito cerrado de televisión (CCTV).

6. Ingeniería de infraestructura e instalaciones. Depende del jefe de técnica y es el encargado de coordinar las necesidades de infraestructura necesarias para la técnica de video-vigilancia, definiendo los tipos de mástiles para las cámaras, las canalizaciones y arquetas para el paso de los cables, y estableciendo toda la obra civil necesaria para la realización de los trabajos.
7. Ingeniería de validación y pruebas. En dependencia del jefe de técnica es el responsable de coordinar y definir todos los procesos de las pruebas y puesta en servicio de las instalaciones de video-vigilancia, según lo estipulado en el contrato y en el proyecto constructivo.

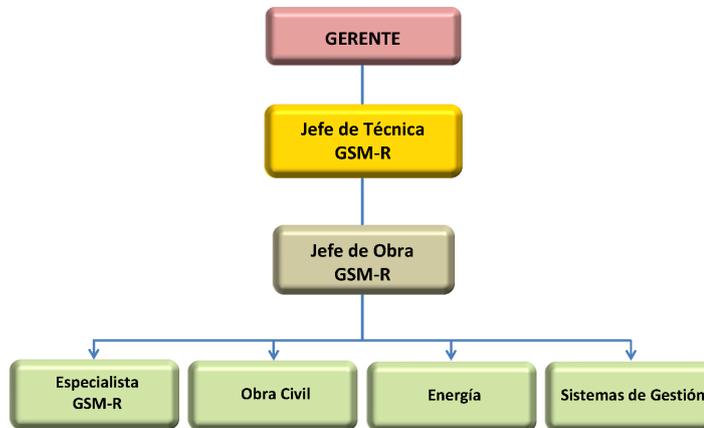


Figura 3.13: EDO: GSM-R

### 3.3.4. Organigrama de telecomunicaciones móviles – GSM-R

Las responsables de las telecomunicaciones móviles se relacionan entre sí de acuerdo al esquema de la figura 3.13, y tienen las funciones siguientes:

1. Jefe de técnica GSM-R. Es el responsable de las actividades relativas a las instalaciones, compras, logística, pruebas y puesta en servicio, calidad y seguridad y salud laboral para los trabajos de Telecomunicaciones Móviles (GSM-R), en los términos estipulados en el proyecto.
2. Jefe de obra GSM-R. En dependencia del jefe de técnica, el jefe de obra GSM-R es el responsable de coordinar todas las actividades del subproyecto de telecomunicaciones móviles (GSM-R). Es el responsable de confirmar que todas las tareas se realizan conforme a lo especificado en el proyecto constructivo.

El órgano de dirección mantiene reuniones periódicas en donde se analiza para ese instante tanto el estado de avance físico de los trabajos como la situación económica en la que se encuentra el proyecto con respecto al objetivo establecido.

### 3.4. Secuenciación de hitos

El proyecto de instalaciones ferroviarias contempla varios subproyectos, tal como refleja la estructura de descomposición del proyecto (figura 3.1). El personal de la organización que se encarga de gestionar cada una de las técnicas y de coordinarlas para cumplir con los requerimientos del proyecto conjunto se reparte de la manera que refleja la estructura de descomposición de la organización (figura 3.10). El proyecto de instalaciones involucra, pues, a muchos recursos tanto materiales como humanos que se coordinan mediante un plan general con una cantidad ingente de información de planificación. Para poder controlar el estado de los trabajos resulta necesario adaptar todo el proyecto a un formato más sencillo que permita a la dirección del proyecto analizarlo para tomar decisiones de forma rápida. Así que se propone simplificar la planificación completa del proyecto centrandolo en aquellos hitos de cada subproyecto que han de cumplirse necesariamente en un plazo dado para evitar que bloqueen el inicio de actividades de ese o de otros subproyectos. A partir de esos hitos se construye un grafo de tipo Roy que contemple una planificación conforme a la consecución de los mismos. Este diagrama permite observar el impacto de posibles retrasos en alguno de los subproyec-

tos sobre la totalidad del proyecto. Así, mientras dure la obra, se realizará un seguimiento especial de todas aquellas actividades cuyo retraso pudiera derivar en el bloqueo de otras.

Los hitos principales que se han de conseguir en un proyecto de instalaciones ferroviarias se reflejan en el grafo Roy de las figuras (figuras 3.14 a 3.15). En este grafo podemos distinguir dos tipos de hitos: externos e internos. Los hitos externos son aquellos que se alcanzan durante la ejecución de otros proyectos ajenos al proyecto de instalaciones, pero que condicionan el inicio de trabajos del proyecto. Los hitos internos son los que se logran mediante trabajos correspondientes al propio proyecto de instalaciones, y que constituyen condiciones necesarias para poder iniciar otras tareas del mismo.

### **Hitos externos**

Los hitos externos que se han de alcanzar son tres:

- Disponer de la plataforma del tren.
- Disponer de la vía en primera nivelación.
- Disponer de la vía en segunda nivelación.

La disponibilidad de plataforma es condición necesaria para poder realizar los trabajos de replanteo (técnicas de sistemas de señalización y de protección al tren), el inicio de los trabajos de edificación (técnica de edificación) y el montaje de BTS (técnica de comunicaciones móviles).

La disponibilidad de vía en primera nivelación se requiere para iniciar las labores correspondientes al tendido de cables (técnicas de sistemas de señali-

zación, de energía y de protección al tren) y al tendido de fibra óptica (técnicas de sistemas de comunicaciones fijas).

La disponibilidad de vía en segunda nivelación se requiere para poder realizar el montaje de elementos de campo (técnica de señalización), para realizar la instalación de campo del sistema de energía (técnica de energía), el montaje de campo de telecomunicaciones fijas (técnica de sistemas de comunicaciones fijas), el montaje y conexionado de campo de los sistemas auxiliares de detección (técnica de sistemas auxiliares de detección), y el montaje de los elementos de campo de protección al tren (técnica de protección al tren).

#### **Hitos internos**

Cada uno de los subproyectos o técnicas involucrados en el proyecto contribuye a alcanzar una serie de objetivos o hitos necesarios para desbloquear el inicio de las actividades conducentes a la consecución de otros hitos. La finalización del proyecto viene determinada por la finalización con éxito de las pruebas dinámicas de los sistemas de protección al tren (técnica de sistemas de protección al tren) . Todos los subproyectos contribuyen al objetivo global alcanzando diferentes hitos internos al proyecto:

- Sistemas de señalización:
  - Replanteo
  - Montaje de elementos de cabina
  - Montaje de elementos de campo
  - Ingeniería de software y hardware

- Tendido de cables
- Arranque de equipos
- Pruebas de laboratorio
- Pruebas de concordancia
  
- Sistemas de protección al tren:
  - Replanteo
  - Montaje de elementos de cabina
  - Montaje de elementos de campo
  - Ingeniería de software y hardware
  - Tendido de cables
  - Pruebas estáticas
  - Pruebas dinámicas
  
- Sistemas de comunicaciones fijas
  - Tendido de fibra óptica
  - Montaje de elementos cabina
  - Montaje de elementos de campo
  - Disponibilidad de red privada de señalización
  - Disponibilidad de red de transporte, acceso y datos
  
- Sistemas auxiliares de detección

- Montaje de elementos de campo
- Pruebas y puesta en servicio
- Sistema centralizado de control de tráfico
  - Ingeniería de sistema CTC
  - Pruebas y puesta en servicio de sistema CTC
- Sistema de suministro de energía
  - Tendido de cables
  - Montaje de elementos de campo
  - Montaje de elementos de cabina
  - Disponibilidad de energía de suministradores
  - Disponibilidad de energía de 750 kW
- Sistema de edificios técnicos y casetas de señalización
  - Disponibilidad de entrada de equipos
- Sistema de telecomunicaciones móviles
  - Montaje de estaciones base transceptoras (BTS)
  - Disponibilidad de red GSM-R

El orden en que se deben ir alcanzando los hitos internos por parte de las diferentes técnicas ha de garantizar que las actividades conducentes a alcanzar uno

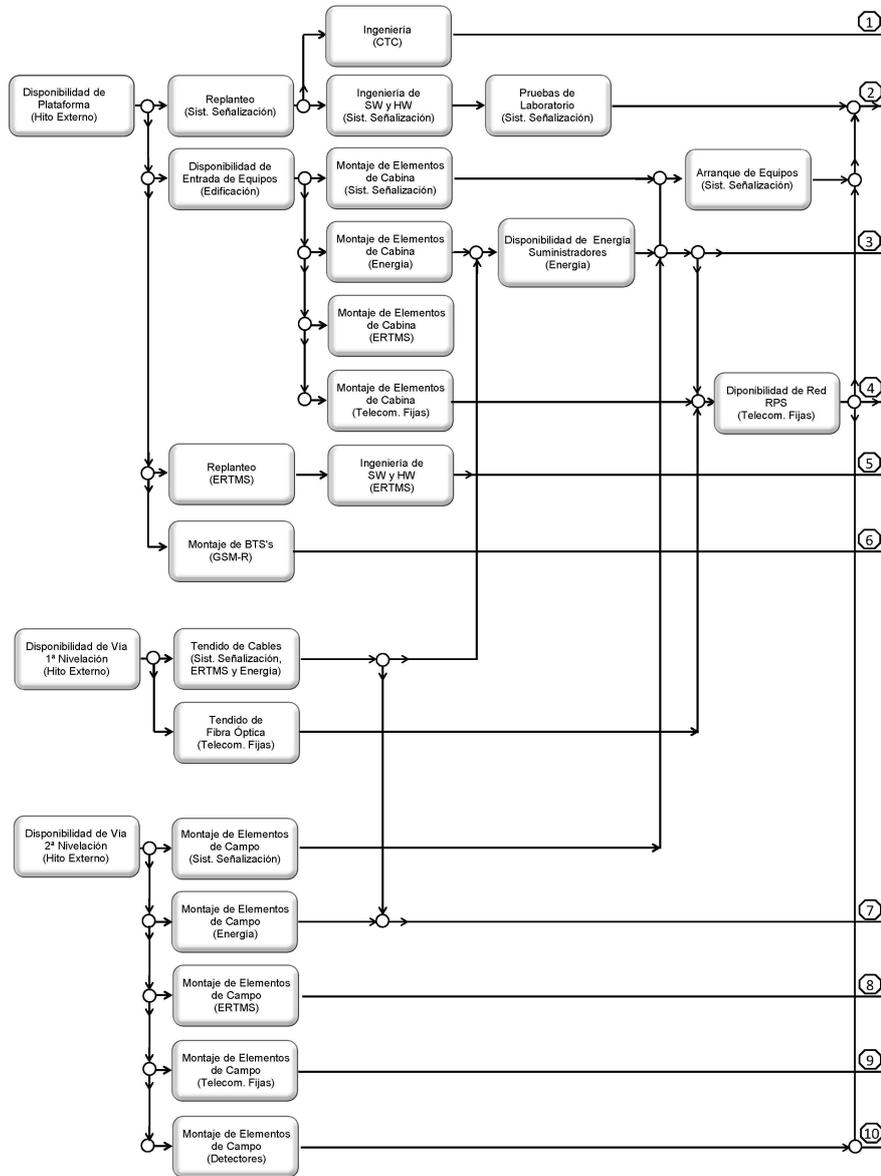
de los hitos no se vea bloqueada porque algún otro hito no se haya alcanzado en el plazo previsto. Esta información se representa en un grafo de tipo Roy como el de las figuras 3.14 y 3.15.

Hay una diferencia entre la secuenciación — grafo Roy — y la estructura de descomposición del proyecto: la EDP es una estructura jerárquica que descompone el proyecto en los trabajos que hay que hacer. La secuenciación no tiene por qué seguir la EDP, sino que es una estructura lógica que permite monitorizar el desarrollo de los trabajos. Así, varios paquetes de trabajo de la EDP se pueden unificar en una sola actividad del Roy, y viceversa, un paquete de trabajo se puede representar con varias actividades del Roy. Una actividad no es necesariamente una tarea, pues puede corresponder a varias tareas o a partes de una única tarea.

### **3.5. Documentos para el control del proyecto**

La organización del proyecto obliga a trabajar con unos documentos de partida que se generan al inicio del mismo y que reflejan los objetivos que se pretende conseguir a la finalización de los trabajos. Así, se genera un presupuesto para reflejar los objetivos económicos del proyecto, y un plan de obra que se corresponda con los plazos deseados para comenzar y terminar cada trabajo y el proyecto completo.

Además, se construye una tabla de hitos, con las tareas críticas del proyecto, y un documento de seguimiento de obra, que se actualizarán a medida que avance el proyecto, y que reflejarán el estado del mismo para indicar si



**Figura 3.14:** Grafo Roy representativo de las dependencias y de la secuenciación de los hitos del proyecto (sigue en la figura 3.15)

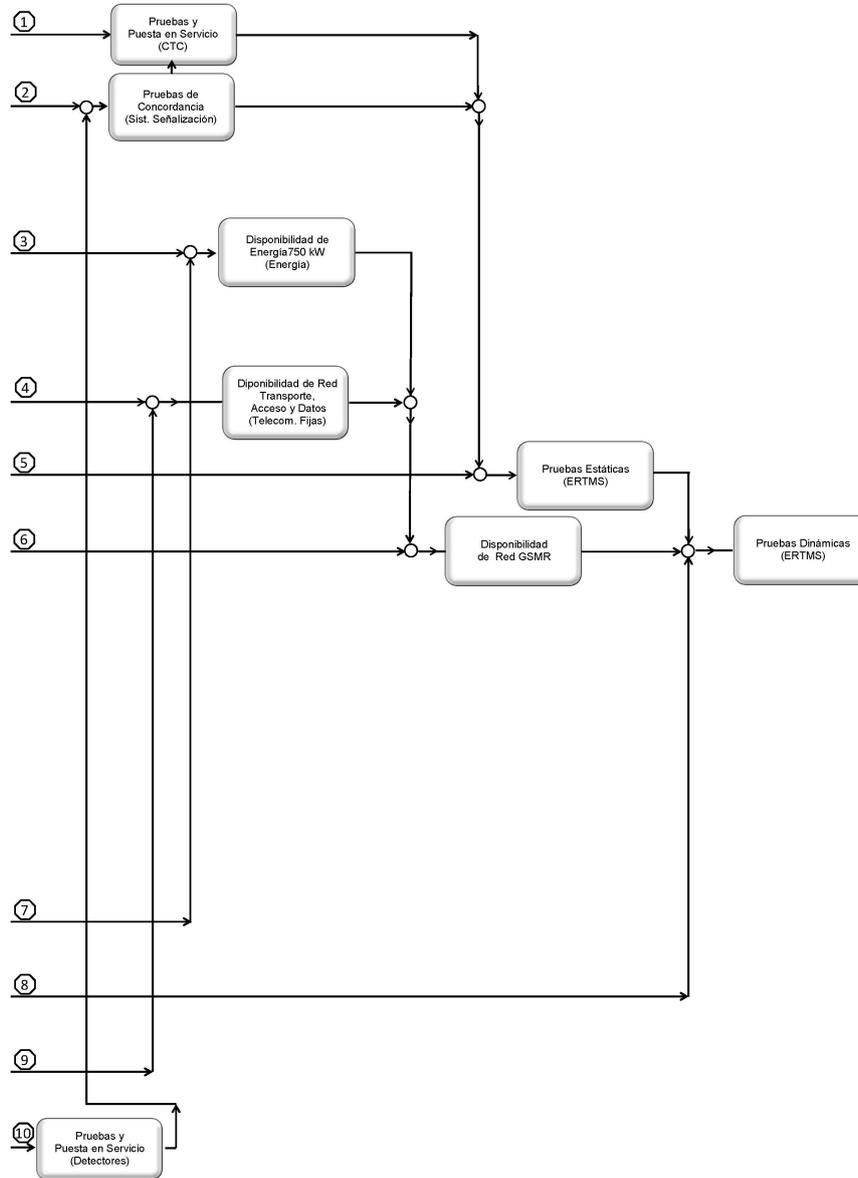


Figura 3.15: Grafo Roy representativo de las dependencias y de la secuenciación de los hitos del proyecto (viene de la figura 3.14)

es necesario introducir acciones correctoras, pero también para mostrar si el impacto de las mismas ha sido positivo.

### **3.5.1. Presupuesto: ingresos/gastos**

El presupuesto que se construye para describir los objetivos económicos del proyecto consta de dos tablas, para reflejar tanto los ingresos que se prevé obtener como los gastos que se espera realizar.

La tabla de ingresos es el documento que forma parte del proyecto constructivo y que refleja el número de unidades y el presupuesto unitario por cada una de las partidas que se ejecutarán en los trabajos adjudicados a la constructora (figura 3.16). La suma de todas las unidades proporciona el importe total ingresado por la ejecución de los trabajos. La característica principal de esta tabla de ingresos es que se mantiene inalterable durante toda la ejecución del proyecto.

La tabla de gastos indica las previsiones de costes necesarios para conseguir alcanzar los objetivos fijados, tanto en funcionalidad como en calidad y plazos. Esta tabla es variable a lo largo del proyecto, pues dependiendo de la habilidad del gestor se podrán alcanzar índices de gasto inferiores a los previstos.

### **3.5.2. Diagrama de Gantt de tareas resumen**

El cronograma es un documento que se mantiene vivo durante el transcurso del proyecto. Un buen plan de obra debe de ser fácilmente actualizable pues, de lo contrario, al necesitar demasiado tiempo para su mantenimiento, terminará

Descripción	Medición Contrato	Precio	Importe
<b>Sistemas de Señalización</b>			<b>20.419.435,78</b>
<b>Puestos Locales de Operación</b>			<b>90.425,98</b>
<b>Puesto Local de Operación (PLO)</b>	2,00	28.617,17	57.234,34
<b>Mobiliario para puesto local de Operación</b>	2,00	16595,82	33.191,64
<b>Equipos de Cabina de Señalización</b>			<b>6.069.024,70</b>
<b>Bastidor Equipos de ENCE</b>	46,00	16.260,40	747.978,40
<b>Bastidor de Energía</b>	15,00	25.397,67	380.965,05
...	...	...	...

Figura 3.16: Ejemplo de tabla de ingresos.

quedando obsoleto.

Para conseguir agilizar la planificación y actuar con inmediatez ante posibles retrasos, el diagrama de Gantt se realiza en base a tareas resumen (figura 3.17), que se hacen coincidir con las resumen del presupuesto de obra (ingresos). Con esta decisión se consigue un cronograma más manejable, pues incluye un número de tareas menor y, por tanto, más fácilmente revisable. El hacerlo coincidir con las tareas resumen del presupuesto hace que el presupuesto y el avance de obra se puedan integrar en un único documento en el que se vinculen avances de obra con rendimientos de avance de obra. A la vez, se consigue que dispongamos, de una manera periódica, de una información *de mínimos* sobre el avance de los trabajos. Esto es así porque mensualmente se recibe la certificación por los trabajos ejecutados. Esta certificación cuenta con la aceptación del Organismo de Control de Obra.

### 3.5.3. Tabla de hitos

A partir del plan de obra general del proyecto se decide cuáles son sus hitos u objetivos relevantes, que son aquellos que definen el camino crítico del

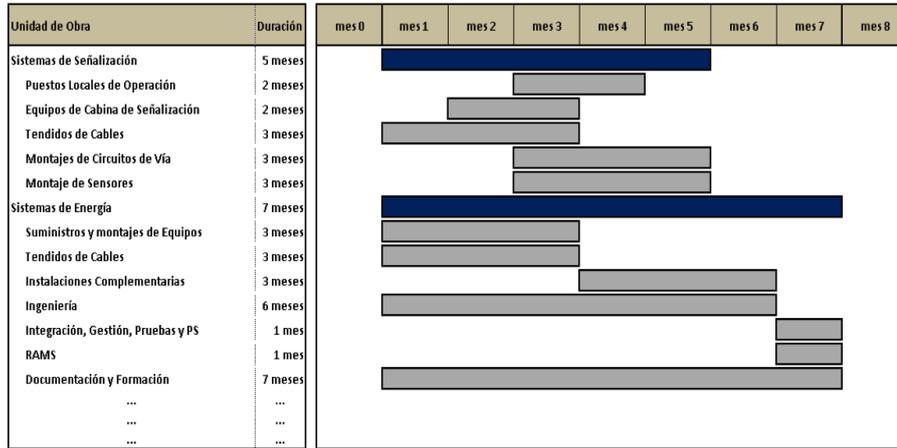


Figura 3.17: Ejemplo de diagrama de Gantt de tareas resumen

proyecto [24, 46]. El camino crítico lo forman todas las tareas críticas, que son aquellas que ante cualquier retraso de una de ellas se tendría asociado un retraso equivalente en la fecha de finalización del proyecto. Estas tareas críticas coinciden con las tareas bloqueantes del proyecto .

Por otra parte, como estamos trabajando con proyectos cuyos trabajos están deslocalizados y distribuidos a lo largo de extensiones de terreno vastas (del orden de cientos de kilómetros de longitud), el proyecto general está, a su vez, dividido en proyectos menores o subproyectos. Todos los subproyectos tendrán que cumplir con los mismos objetivos o hitos relevantes establecidos a partir del plan de obra general y, además, deberán hacerlo en unos plazos delimitados. Estos plazos pueden variar entre subproyectos, pues tanto la fecha de inicio como la cantidad de trabajo que se necesita para alcanzar cada hito pueden ser diferentes.

Con la información de hitos relevantes y del número de subproyectos, se

		Subproyecto 1	Subproyecto 2	Subproyecto 3	...	Subproyecto n
Técnica 1	Hito 1					
	Hito 2					
Técnica 2	Hito 3					
...	...					
Técnica m	Hito k					fecha (k,n)

**Figura 3.18:** Ejemplo de tabla de hitos relevantes y subproyectos

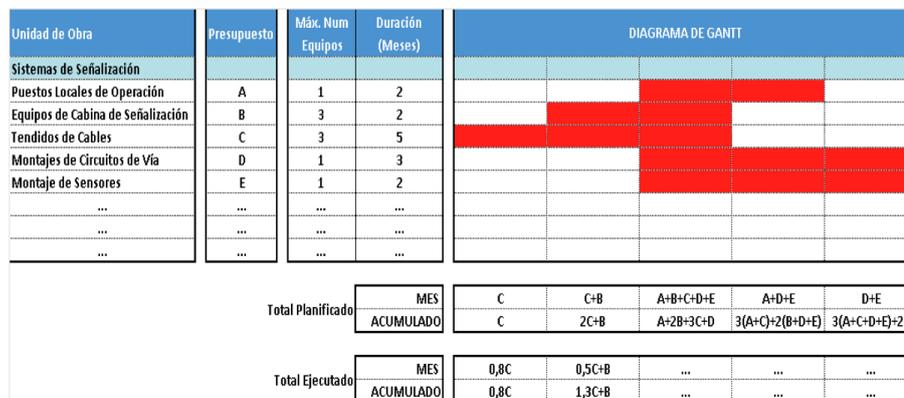
construye una tabla que represente en filas los hitos, en columnas los subproyectos y que en cada celda refleje la fecha prevista para el cumplimiento de cada hito en cada subproyecto (ver tabla 3.18). Las fechas de inicio de los trabajos encaminados a cumplir los objetivos de cada hito están determinadas por las fechas de cumplimiento de los hitos predecesores, puesto que se trata de tareas críticas.

### 3.5.4. Documento de seguimiento

El documento de seguimiento de obra integra el diagrama de Gantt y el presupuesto con el objetivo de calcular las medidas de rendimiento que informen sobre el estado de la obra en los diferentes puntos de control (figura 3.19).

En el documento de seguimiento aparecen varias zonas diferenciadas: las unidades de obra y el presupuesto total; los recursos máximos que se van a utilizar, así como los rendimientos de trabajo; las duraciones estimadas de los trabajos conforme a la planificación vigente; y la estimación económica conforme a la planificación vigente.

1. Unidades de obra y presupuesto total. Sobre esta zona se reflejan las



**Figura 3.19:** Ejemplo de documento de seguimiento de obra.

unidades de obra resumen junto con el importe total a certificar según lo firmado en el proyecto constructivo.

2. Recursos máximos a utilizar y rendimientos de trabajo. Sus valores se obtienen en base a la experiencia de los rendimientos observados en proyectos anteriores similares.
3. Duraciones estimadas de los trabajos conforme a la planificación vigente. Es un diagrama de Gantt de seguimiento de la ejecución del proyecto que se alimenta de la tabla de hitos que, como hemos visto, la conforman las unidades correspondientes al camino crítico del proyecto. La duración de cada actividad se determina teniendo en cuenta dos aspectos:
  - Unidad temporal de inicio de una actividad. Está definida por el valor en la tabla de hitos de la fecha de superación del hito bloqueante de esa actividad.
  - Unidad temporal de finalización de una actividad. Es el menor de

los valores que aparecen en la tabla de hitos como fecha de inicio de hitos dependientes de esa actividad.

4. Estimación económica conforme a la planificación vigente. Se construye una tabla que refleje la situación económica actual. Cada unidad temporal de las asignadas a un trabajo en la planificación vigente tiene asociados dos valores relacionados con el impacto económico de dicho trabajo y de dicha unidad temporal sobre el total del proyecto:

1. Importe Planificado. Es el importe que correspondería ingresar si se cumpliera el plan de obra vigente.
2. Importe Ejecutado. Se trata del importe que se ingresa realmente por los trabajos cuya ejecución ya está certificada y aprobada por la dirección de obra.

### **3.6. Fuentes de información**

Las información del estado y al coste de los trabajos ejecutados se puede obtener de forma rápida sin necesidad de acudir a los lugares donde se estén desarrollando recurriendo a dos fuentes de información diferentes: los supervisores de cada uno de los subproyectos y los organismos de control autorizados (OCA).

Los supervisores de obra trabajan para las empresas constructoras, subcontratistas de los diferentes subproyectos, y proporcionan información del porcentaje total de la obra que han ejecutado hasta el momento en que se realiza el

control mediante la emisión de facturas. La información que proporcionan no tiene por qué ser completamente cierta, aunque la medida que se obtiene por esta vía de la cantidad de trabajo efectivamente realizado siempre será mayor o igual que el valor real. Esto se debe a que los supervisores consideran que ellos mismos pueden absorber los posibles retrasos en el futuro inmediato sin necesidad de alarmar a los gestores del proyecto y sin dejar de cumplir con los plazos previstos.

Por otro lado, un OCA informa de los avances a través de certificaciones de obra ejecutada en cada uno de los subproyectos. Para emitir estas certificaciones, el organismo de control dispone, por su parte, de información en la que no confía plenamente, por lo que es posible que intente retrasar los pagos hasta tener plena seguridad de que los trabajos se han ejecutado en su totalidad. Así, pues, la información que aportan las certificaciones de estos organismos también carecen de una fiabilidad absoluta. En cualquier caso, una certificación de obra se corresponde siempre con un porcentaje total de obra ejecutada igual o menor que el valor real.

En resumen, se puede asegurar que el cómputo total de los trabajos realizados es un valor que no se conoce con exactitud, pero que está acotado inferiormente por la información procedente de los organismos de control, y superiormente por la información aportada por los supervisores de obra.

### 3.7. Índices de rendimiento

Los índices de rendimiento de la planificación y del coste son herramientas que permiten resumir el estado de un proyecto en un momento concreto para, a partir de ellos, tomar decisiones de planificación. Su validez como herramienta de control y planificación se apoya en dos factores principales: por un lado, la información del estado de los trabajos ha de ser fiable; por otro, las decisiones de intervención en los trabajos han de ser ágiles.

Se propone la utilización de índices de rendimiento estimados de forma que tengan en cuenta una valoración subjetiva de la fiabilidad de las fuentes de información de que dispone el gestor. Así, se generará un factor de rendimiento que resuma la información de los costes de la ejecución considerando también la estimación del estado real de avance de los trabajos.

#### 3.7.1. Índice de rendimiento de la planificación estimado

El valor real del índice de rendimiento de la planificación ha de sustituirse por una estimación debido a la falta de garantía acerca de la veracidad de la información disponible sobre el avance de los trabajos. Así se utilizará un valor estimado que refleje la confianza del gestor del proyecto en las distintas fuentes de información, ponderando los valores de actividades realizadas en base a dicha confianza.

$$SPI = \frac{EV}{PV} = \frac{\frac{EV}{BAC}}{\frac{PV}{BAC}} = \frac{PC}{PP}$$

La expresión anterior permite obtener el valor del índice de rendimiento de

la planificación como la relación entre la cantidad de trabajo completado, PC, y la cantidad de trabajo que debería estar completado según la planificación, PP. El segundo valor es conocido y aparece reflejado en la planificación vigente. Por contra el valor PC ha de estimarse por carecer de una medida fiable. Para realizar esta estimación se propone utilizar una media ponderada en la que el gestor decida los factores de peso en base a su experiencia con las diferentes fuentes de información, tanto de proyectos anteriores como de fases anteriores en el mismo proyecto. Así, pues, el valor estimado para el porcentaje de cada uno de los trabajos completados en un determinado subproyecto o para cumplir un hito, vendrá determinado por el valor de la expresión siguiente:

$$PC_{estimado,h} = \sum_i p_{h,i} \cdot PC_{h,i}; \sum_i p_{h,i} = 1$$

Donde  $h$  representa a cada uno de los distintos subproyectos o hitos,  $i$  representa a las distintas fuentes de información (supervisores y entidad certificadora), los factores de ponderación,  $p_{h,i}$ , representan la confianza en cada una de ellas, y los valores  $PC_{h,i}$  son los porcentajes de trabajos realizados según sus propios informes. Cabe decir que cuando no se tiene experiencia suficiente como para asignar los factores de ponderación que representan la confianza en los informadores, se utiliza el mismo valor para todos ellos, lo que indica que a todos se les otorga igual grado de confianza.

A partir de los valores de la cantidad de trabajo realizado en cada subproyectos o para cada hito, se obtiene el valor completado en todo el proyecto mediante su acumulación:

$$PC_{estimado} = \sum_h PC_{estimado,h}$$

Con los valores anteriores se obtienen, finalmente, los valores estimados de SPI tanto para cada subproyecto como para el proyecto total sin más que dividirlos entre los valores de los trabajos que deberían estar completados de acuerdo a la planificación del subproyecto correspondiente o del proyecto total.

$$SPI_{estimado,h} = \frac{PC_{estimado,h}}{PP_h}$$

$$SPI_{estimado} = \frac{PC_{estimado}}{PP}$$

### 3.7.2. Índice de rendimiento del coste basado en la planificación

En lugar del índice de rendimiento del coste, se propone utilizar la relación entre el coste presupuestado para el trabajo que debería estar ejecutado según la planificación, PV, y el coste real de los trabajos efectivamente completados, AC. A este valor se le denominará como índice de rendimiento del coste basado en la planificación ( $CPI_{PV}$ ).

$$CPI_{PV,h} = \frac{PV_h}{AC_h}$$

$$CPI_{PV} = \frac{PV}{AC}$$

Donde  $CPI_{PV,h}$  es el índice de rendimiento de un subproyecto concreto, y

$CPI_{PV}$  es el valor del índice del proyecto global.

Se ha optado por esta solución para no depender de la confianza del gestor en las fuentes de información. Si bien los informadores sí son precisos en cuanto a las facturas que gestionan — y que afectan al valor AC —, no lo son necesariamente en los aspectos que afectan al valor ganado, EV. Por esta razón se ha utilizado una variación de la expresión habitualmente utilizada para calcular el valor CPI.

### 3.7.3. Ratio crítico estimado

El valor del ratio crítico real no se puede calcular con exactitud porque no hay certeza absoluta en cuanto al estado de avance de los trabajos. Esto da lugar, por un lado, a que el índice de rendimiento de la planificación tenga que ser un valor estimado y dependiente de la experiencia del gestor. Por otro lado, se utiliza una variante del índice de rendimiento del coste para evitar que sea afectado por los parámetros de ponderación de la incertidumbre de la información, lo que haría que su efecto fuera cuadrático en el cálculo del ratio crítico. Así pues, el valor final del ratio crítico se obtendrá de forma estimada tanto para los diferentes subproyectos,  $h$ , como para el proyecto global, de acuerdo con la siguientes expresiones:

$$CR_{estimado,h} = CPI_{PV,h} \cdot SPI_{estimado,h}$$

$$CR_{estimado} = CPI_{PV} \cdot SPI_{estimado}$$

Como se ha dicho, valores de ratios críticos inferiores a la unidad son indicadores de desviaciones con respecto a la planificación o, lo que es lo mismo, indican la existencia de problemas en la ejecución de los trabajos a que se refieren ( $CR_{estimado,h}$ ), o al proyecto en su conjunto ( $CR_{estimado}$ ). Por contra, ratios críticos superiores a la unidad reflejan rendimientos por encima de las expectativas.

### **3.8. Toma de decisiones de gestión**

Los índices de rendimiento descritos son una herramienta para medir el estado de los trabajos durante el proceso de control del proyecto y, en base a esos índices, construir una metodología de toma de decisiones de gestión. Esta labor de gestión pasa por adquirir información sobre el estado del proyecto de forma periódica para calcular los valores de los índices de rendimiento antes de tomar ninguna decisión de planificación. En los puntos de control se compara el estado del proyecto con el que debería tener de acuerdo con la planificación, y en caso necesario, se introducen acciones correctoras. Es importante matizar que las acciones correctoras han de implantarse antes del siguiente punto de control y con antelación suficiente como para que puedan notarse sus efectos.

#### **3.8.1. Frecuencia de análisis del estado del proyecto**

La utilización del método del valor ganado es exigente en cuanto a la necesidad de recursos destinados a su control, por lo que la elección de la frecuencia con que se monitoriza el proyecto ha de alcanzar un compromiso entre

la necesidad de conocer el estado de los trabajos y la obligación de utilizar la menor cantidad posible de recursos para la adquisición de información, lo que afectaría al coste total del proyecto. Además, dentro del período de muestreo ha de dar tiempo a realizar una nueva planificación, cuando fuese necesario, y también a implantarla. Las razones anteriores obligan a buscar un período de muestreo suficientemente grande como para que no se consuman muchos recursos y para que se pueda replanificar, pero lo suficientemente pequeño como para que las acciones de control que se introduzcan tras la replanificación sean adecuadas. En resumen, el período de muestreo ha de garantizar que el estado del sistema se pueda mantener bajo control. En el caso concreto de los proyectos de instalaciones ferroviarias de alta velocidad, se ha observado que el período mínimo de tiempo necesario para que se aprecien avances significativos en cualquier unidad de trabajo coincide con la frecuencia con que se certifican esos trabajos, y que en este tipo de obras es de aproximadamente un mes. Así, se propone medir el estado del sistema una vez al mes, y haciendo coincidir los puntos de control con los momentos en que se emiten las certificaciones de obra. Esta forma de actuar presenta la ventaja añadida de que se ahorran recursos para medir el estado del sistema, pues las certificaciones son parte de la información utilizada para conocerlo. Aumentar la frecuencia de muestreo supondría un mejor control del proyecto, pero a costa de un peor rendimiento económico. En cualquier caso, la dirección del proyecto puede decidir aumentar la frecuencia de muestreo tanto para el proyecto completo como para alguno de sus subproyectos si considerase necesario aumentar la vigilancia y el control de los mismos para poder cumplir con los objetivos

finales.

### 3.8.2. Acciones correctoras

Los índices de rendimiento propuestos en la sección 3.7 son fundamentales para las decisiones de gestión. Si el valor del ratio crítico estimado es inferior a la unidad, entonces se sabe que el proyecto puede estar en problemas. En todo caso, para evitar exceso de trabajo de replanificación, se puede utilizar un umbral de confianza algo menor, establecido en base a la experiencia del planificador. Así, la decisión de replanificar se debe tomar cuando el proyecto se encuentre en un estado tal que:

$$CR_{estimado} < umbral < 1$$

Así, cuando en un punto de control se observe que el valor  $CR_{estimado}$  es inferior al umbral de confianza, entonces el órgano de dirección deberá tomar las decisiones correctoras necesarias para poner el proyecto en línea con las previsiones iniciales. En esta situación, también hay que analizar el grado de influencia que tienen en el bajo valor del  $CR_{estimado}$  tanto el índice de rendimiento de la planificación estimado ( $SPI_{estimado}$ ) como el índice de rendimiento del coste basado en la planificación ( $CPI_{PV}$ ).

**Escenario 1:**  $SPI_{estimado} < umbral$ ;  $CPI_{PV} \geq umbral$ ;  $CR_{estimado} < umbral$

El valor desfavorable se debe a un problema en la duración de las tareas, así que la primera medida que debe tomarse consiste en realizar un análisis intenso del cronograma con el fin de encontrar aquellas unidades

cuyos tiempos pudieran recortarse para absorber los retrasos acumulados. Si no se pudieran reducir los plazos de esta manera, entonces se tendrá que mejorar el  $SPI_{estimado}$  a costa de empeorar el  $CPI_{PV}$ . Esta mejora se puede conseguir con una o varias de las siguientes acciones correctoras:

- Aumentar el número de recursos asignados a alguna de las tareas que se están ejecutando o que se van a ejecutar próximamente. En la práctica, se consigue aumentando el número de equipos de trabajo o bien incrementando la jornada laboral (horas extraordinarias, trabajo en días festivos).
- Estudiar las relaciones de dependencia entre actividades con el fin de intentar encontrar alternativas que eliminen precedencias de actividades o para detectar la posibilidad de que alguna tarea sucesora pueda comenzar antes de que finalice su predecesora.
- Aplicar medidas existentes en el plan de riesgos previsto en el proyecto inicial o, en su defecto, estudiar otras posibilidades de evitar que una actividad sea bloqueada en caso de producirse un incumplimiento de algún hito predecesor suyo. Así, por ejemplo, si no se dispone de energía de suministradores en el momento previsto para el arranque de equipos, se puede intentar obtener energía a partir de grupos electrógenos de alquiler; o, en caso de que no se disponga de red de telecomunicaciones fijas en el momento previsto para la realización de las pruebas de concordancia, se podrían realizar

pruebas utilizando modems, lo que ralentizaría las mismas, pero menos que si se esperara a disponer de la red de telecomunicaciones fijas. Estas soluciones acarrear penalizaciones en los costes del proyecto, pero, sin embargo, consiguen evitar retrasos en los plazos de ejecución.

**Escenario 2:**  $SPI_{estimado} \geq umbral$ ;  $CPI_{PV} < umbral$ ;  $CR_{estimado} < umbral$

Esta situación refleja un problema de exceso de costes que afecta negativamente al rendimiento del proyectos. De igual forma que en el escenario anterior, las actuaciones correctoras que se deben contemplar son las siguientes:

- Reducir la cantidad de recursos asignados a alguna de las tareas que se están ejecutando o que se van a ejecutar próximamente. Esta solución empeorará el rendimiento de la planificación, pero conseguirá recuperar el rendimiento del coste.
- Utilizar la capacidad de negociación del gestor del proyecto con las subcontratas para conseguir contratos más ventajosos, pues el rendimiento positivo de la planificación permite jugar con los márgenes de tiempo.

**Escenario 3:**  $SPI_{estimado} < umbral$ ;  $CPI_{PV} < umbral$ ;  $CR_{estimado} < umbral$

Cuando los dos índices,  $SPI_{estimado}$  y  $CPI_{PV}$ , contribuyen negativamente al valor de  $CR_{estimado}$ , hay que buscar un compromiso entre las alternativas presentadas en los dos escenarios anteriores, buscando soluciones que mejoren principalmente al índice más bajo.

A partir de las decisiones que tome el órgano de dirección, se realiza una nueva planificación que incluya las tareas pendientes de ejecución hasta completar el proyecto, y que pasará a ser la planificación vigente desde ese momento.



# Capítulo 4

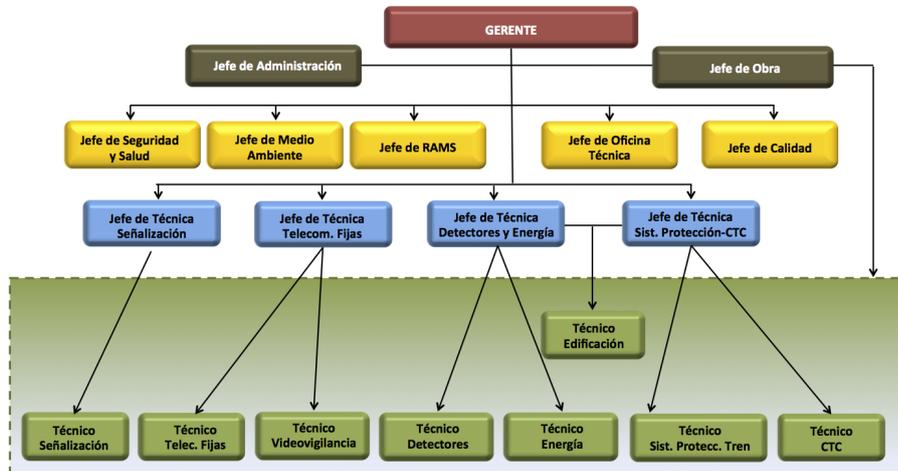
## Estudio de caso real

### 4.1. Introducción

Se ha probado la metodología propuesta en un caso real de proyecto de instalaciones ferroviarias de Alta Velocidad Española (AVE) ejecutado por varias empresas constructoras que juntaron sus servicios a través de una Unión Temporal de Empresas.

### 4.2. Estructura de descomposición del proyecto

El proyecto corresponde a las instalaciones de una línea de alta velocidad de casi 100 km de longitud. Esta línea está dividida en cuatro enclavamientos electrónicos o ENCEs (sección 3.2.1) que se apoyan en un total de trece dependencias — tres edificios técnicos y diez casetas de señalización. Cada dependencia tiene asociado un tramo de vía, y todos los elementos que se co-



**Figura 4.1:** Caso de estudio: EDO - organigrama general

necten en ese tramo se cablean hacia los elementos de cabina instalados en esa dependencia.

La EDP es similar a la descrita en el capítulo 3, con la particularidad de que el subproyecto de telecomunicaciones móviles estaba fuera del alcance del proyecto, puesto que su ejecución fue asignada a otra organización.

### 4.3. Estructura de descomposición de la organización

Puesto que el subproyecto de telecomunicaciones móviles desaparece de la EDP, entonces la EDO se ve modificada en consecuencia, que no recoge la parte correspondiente a GSM-R en su organigrama general (figura 4.1).

## 4.4. Secuenciación de hitos

Es importante reseñar que en este proyecto se modificó el grafo Roy presentado en la sección 3.4, puesto que el subproyecto de telecomunicaciones móviles no estaba dentro del alcance del proyecto. Este hecho implica que en el nuevo grafo Roy (figuras 4.2 y 4.3) la disponibilidad de red GSM-R aparece como un hito externo en lugar de ser un hito interno.

## 4.5. Documentos para el control del proyecto

Se ha implementado una aplicación informática basada en hojas de cálculo para construir los documentos de control del proyecto descritos en la sección 3.5 a partir de la de la planificación inicial y de la información sobre el estado de los trabajos que se obtiene en los puntos de control.

### 4.5.1. Presupuesto: ingresos/gastos

La tabla de ingresos contiene las mediciones de todas las unidades de obra a ejecutar, las cuales no sufrieron ninguna modificación durante todo el contrato (figura 4.4). La tabla de gastos<sup>1</sup> permite comparar los gastos previstos al inicio de la obra y los gastos reales acumulados (figura 4.5).

---

<sup>1</sup>Se han omitido los valores reales de ingresos y gastos en todas las figuras por razones de confidencialidad

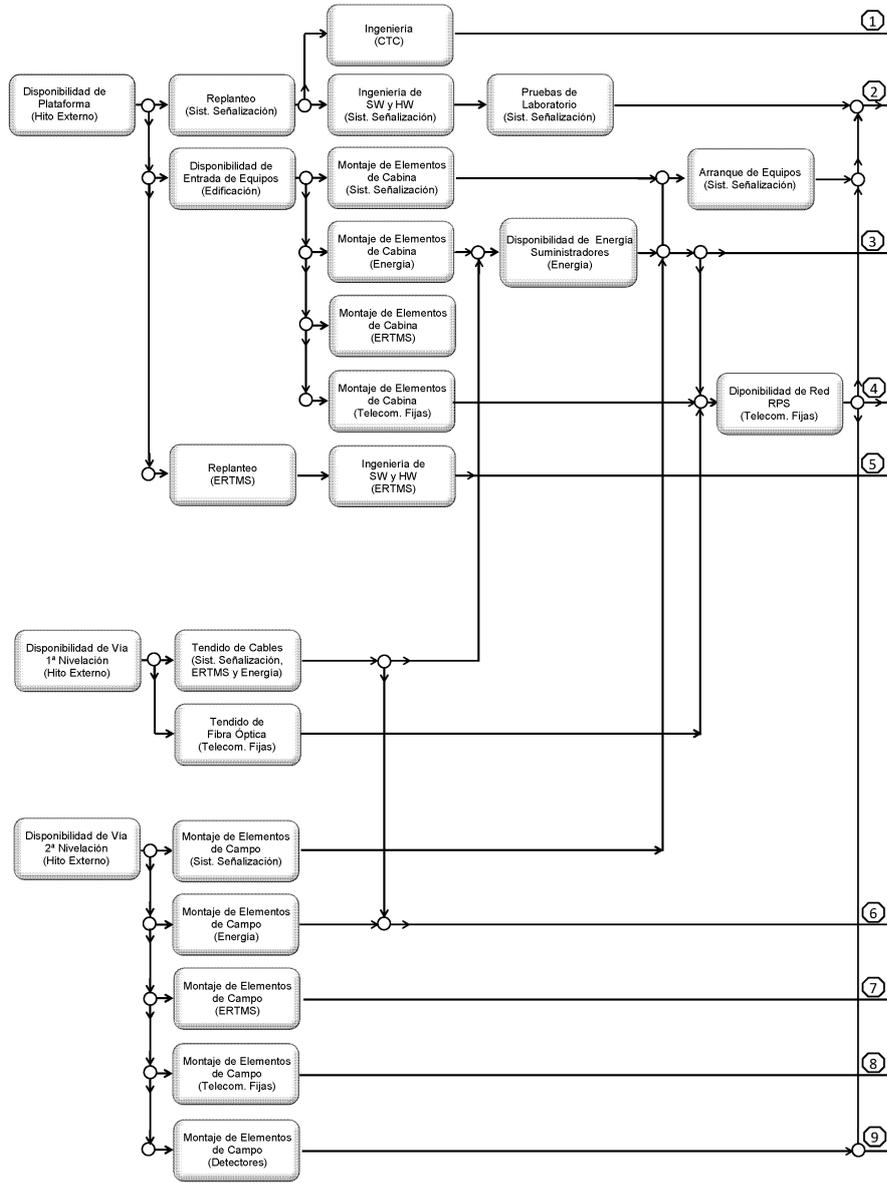


Figura 4.2: Caso de estudio: grafo Roy (sigue en la figura 4.3)

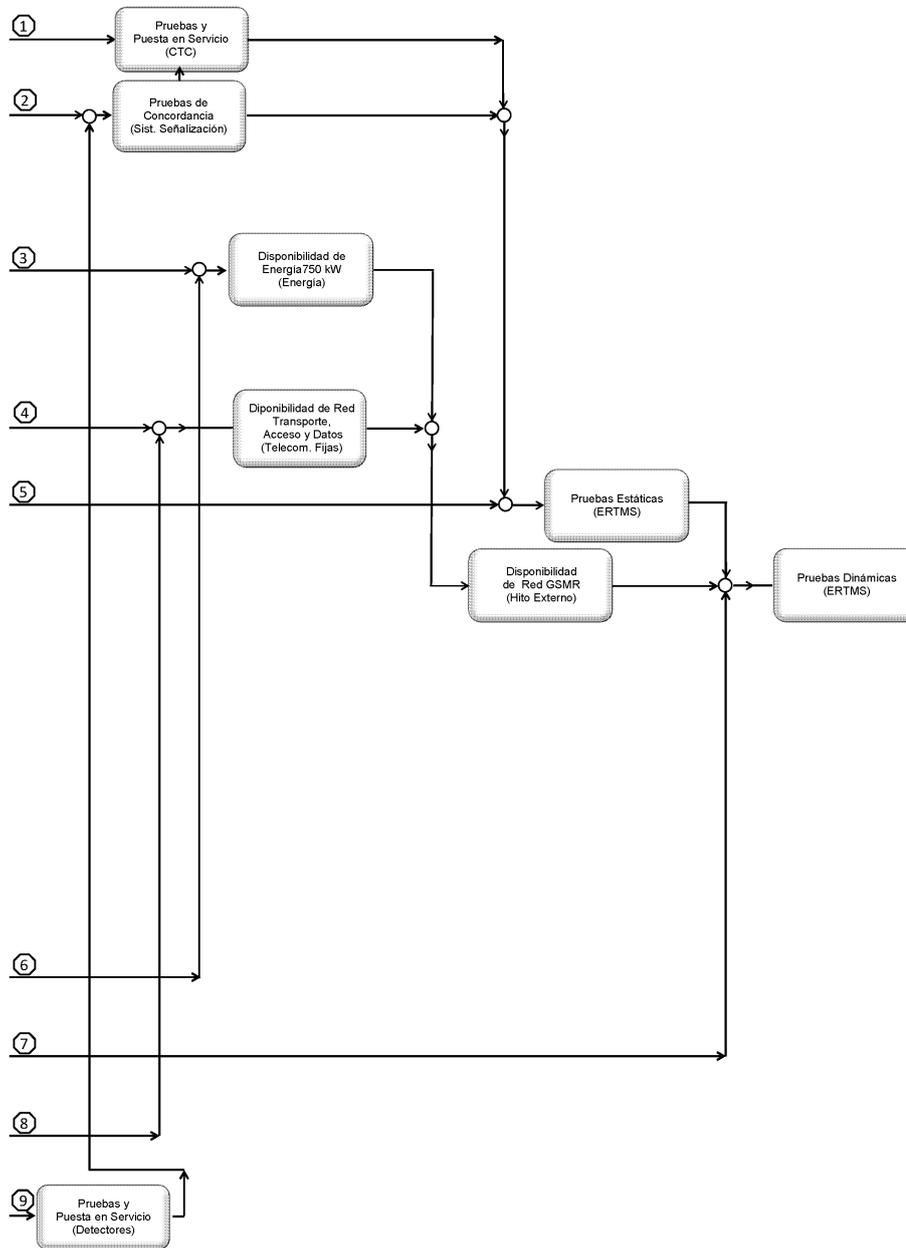


Figura 4.3: Caso de estudio: grafo Roy (viene de la figura 4.2)

UNIDADES DE OBRA				Mes 1		Mes2			
Nº Orden	Ud.	Descripción	MEDICIÓN	PRECIO (PEM)	IMPORTE (PEM)	MEDICIÓN	IMPORTE	MEDICIÓN	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 1. Sistema de señalización</b>									
<b>1.1.- Puestos locales de operación</b>									
1.1	ud	PUESTO LOCAL DE OPERACIÓN (PLO) PARA ENCLAVAMIENTOS ELECTRONICOS COMPUESTOS POR UN ORDENADOR INDUSTRIAL, 3 MONITORES TFT DE 21" MÁS UNO DE REPUESTO, UN TECLADO, UN RATÓN, UN LECTOR DE HUELLAS DACTILARES, UN CONJUNTO DE SONERÍAS Y AVISOS, UNA IMPRESORA LÁSER A COLOR HP LASERJET CP1515N O SIMILAR, EL SOFTWARE ESPECÍFICO DE REPRESENTACIÓN GRÁFICA Y UN MANDO DE ÓRDENES AL ENCLAVAMIENTO, TOTALMENTE MONTADO Y CONEXIONADO.	3,00				0,00		0,00
1.1.2	ud	MOBILIARIO PARA EL PUESTO LOCAL DE OPERACIÓN, INCLUYENDO CONSOLA DE OPERACIÓN PARA EL MANDO LOCAL, BLOQUE DE CAJONES, SILLÓN CON BRAZOS Y ARMARIO PARA EL ALQUJAMIENTO DEL ORDENADOR, TOTALMENTE MONTADO.	3,00				0,00		0,00
<b>TOTAL SUBCAPÍTULO 1.1</b>							<b>0,00</b>		<b>0,00</b>
<b>1.2.-Equipos de cabina y señalización</b>									
1.2.1	ud	BASTIDOR PARA LA UBICACIÓN DEL EQUIPAMIENTO ELECTRÓNICO DEL ENCLAVAMIENTO, INCLUIDOS TODOS LOS ELEMENTOS PARA EL MONTAJE DE LOS DISTINTOS MÓDULOS E INTERFACES, FUENTES DE ALIMENTACIÓN, CANALETAS, BORNAS DE CONEXIÓN Y FUSIBLES NECESARIOS, TOTALMENTE MONTADA Y CONEXIONADA.	49,00				0,00		0,00
1.2.2	ud	BASTIDOR DE ENERGÍA CON TODOS SUS ELEMENTOS, INCLUIDOS LOS TRANSFORMADORES, LOS RECTIFICADORES, LOS DESTELLADORES, LAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN PARA TODO EL SISTEMA, EL RACK DE UBICACIÓN DE LAS FUENTES, LAS CANALETAS, LAS BORNAS DE CONEXIÓN Y LOS FUSIBLES NECESARIOS, TOTALMENTE MONTADO Y CONEXIONADO.	2,00				0,00		0,00
1.2.3	ud	BASTIDOR DE ENERGÍA, ENTRADA Y DISTRIBUCIÓN DE CABLES, INCLUIDOS TODOS SUS ELEMENTOS, TRANSFORMADORES, RECTIFICADORES, FUENTES DE ALIMENTACIÓN PARA TODO EL SISTEMA, RACK DE UBICACIÓN DE LAS FUENTES, CANALETAS, DISTRIBUIDORES, BORNAS DE CONEXIÓN Y FUSIBLES NECESARIOS, TOTALMENTE MONTADO Y CONEXIONADO.	5,00				0,00		0,00
1.2.4	ud	BASTIDOR DE ENTRADA Y DISTRIBUCIÓN DE CABLES, INCLUIDOS TODOS SUS ELEMENTOS, REGLETAS, BORNAS DE CONEXIÓN, CANALETAS, DISTRIBUIDORES Y CABLES DE INTERCONEXIÓN, TOTALMENTE MONTADO Y CONEXIONADO.	9,00				0,00		0,00
1.2.5	ud	CABLEADO DE LA RED LOCAL DEL ENCLAVAMIENTO EN EL EDIFICIO TÉCNICO, TOTALMENTE MONTADO Y CONEXIONADO.	14,00				0,00		0,00
1.2.6	ud	MÓDULO CENTRAL DE PROCESO DEL ENCLAVAMIENTO ELECTRÓNICO, CON RESERVA ACTIVA, INCLUYENDO EL SISTEMA INTERNO DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA Y LOS MÓDULOS DE ENLACE VITAL CON EL RESTO DE LOS EQUIPOS ELECTRONICOS, TOTALMENTE MONTADO Y CONEXIONADO.	3,00				0,00		0,00

Figura 4.4: Caso de estudio: tabla de ingresos

IT	CONCEPTO	PREVISIÓN GASTOS			GASTOS REALES			
		CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	CANTIDAD	INICIO CONTRATO	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN</b>								
1	GERENTE	20 Meses	€/mes	0,00 €	20,0 Meses		€/mes	
2	ADMINISTRACION UTE	20 Meses	€/mes	0,00 €	20,0 Meses		€/mes	
3	SEGURIDAD Y SALUD	55,5 Meses	€/mes	0,00 €	55,5 Meses		€/mes	
4	TECNICO DE OBRA	52,5 Meses	€/mes	0,00 €	52,5 Meses		€/mes	
5	MEDIO AMBIENTE	52,5 Meses	€/mes	0,00 €	52,5 Meses		€/mes	
6	CALIDAD Y RAMS	52,5 Meses	€/mes	0,00 €	52,5 Meses		€/mes	
7	PLANIFICACIÓN	52,5 Meses	€/mes	0,00 €	52,5 Meses		€/mes	
8	JEFE DE OBRA	70 Meses	€/mes	0,00 €	70,0 Meses		€/mes	
9	...	52,5 Meses	€/mes	0,00 €	52,5 Meses		€/mes	
10	...	52,5 Meses	€/mes	0,00 €	52,5 Meses		€/mes	
<b>TOTAL ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN</b>				0,00 €				0,00 €
<b>ESTRUCTURA</b>								
10	OFICINAS CENTRALES	20 Meses	€/m <sup>2</sup>	0,00 €	20,0 Meses		€/m <sup>2</sup>	
	Parking	20 Meses	€/mes	0,00 €	20,0 Meses		€/mes	
	Administrativos	20 Meses	€/mes	0,00 €	20,0 Meses		€/mes	
	Primer equipamiento y consumibles	1	€	0,00 €	1,0		€	
	Gastos (materiales limpieza, etc)	20 Meses	€/mes	0,00 €	20,0 Meses		€/mes	
11	OFICINAS DE OBRA	70 Meses	€/m <sup>2</sup>	0,00 €	70,0 Meses		€/m <sup>2</sup>	
	Administrativos	70 Meses	€/mes	0,00 €	70,0 Meses		€/mes	
	Primer equipamiento	1	€	0,00 €	1,0		€	
	Gastos (materiales limpieza, etc)	70 Meses	€/mes	0,00 €	70,0 Meses		€/mes	
12	ALMACENES DE OBRA	70 Meses	€/m <sup>2</sup>	0,00 €	70,0 Meses		€/m <sup>2</sup>	
	Almaceneros	70 Meses	€/mes	0,00 €	70,0 Meses		€/mes	
	Otros				2500,0		€/mes	0,00 €
<b>TOTAL ESTRUCTURA</b>				0,00 €				0,00 €
<b>MEDIOS</b>								
13	VEHÍCULOS DE OBRA	70 Meses	€/mes	0,00 €	70,0 Meses		€/mes	
14	INFORMÁTICA		€/Ud.	0,00 €			€/Ud.	
<b>TOTAL MEDIOS</b>				0,00 €				0,00 €
<b>GASTOS</b>								
15	GASTOS PREPARACION OFERTA			0,00 €				
17	VIAJE Y REPRESENTACION							
	Gerente	70 Meses	€/mes	0,00 €	70,0 Meses		€/mes	
	Jefe de Obra	70 Meses	€/mes	0,00 €	70,0 Meses		€/mes	
18	GASTOS PERSONAL AJENO	70 Meses	€/mes	0,00 €	70,0 Meses		€/mes	
19	GASOIL PARA GRUPOS	6 Meses	€/mes	0,00 €	6,0 Meses		€/mes	
20	ENCINTADO DE CABLES EN CANALETA PARA EVITAR ROBOS		€/ud.	0,00 €			€/ud.	
21	SEGURIDAD Y VIGILANCIA		€	0,00 €			€	
22	...		€/Ud.	0,00 €			€/Ud.	
23	...		€/Ud.	0,00 €			€/Ud.	
24	...		€	0,00 €			€	
<b>TOTAL MEDIOS Y GASTOS</b>				0,00 €				0,00 €
<b>RIESGOS</b>								
	Organización y Gestión	3 Meses	€/mes	0,00 €	3,0 Meses		€/mes	
	Estructura oficina Central y Obra	3 Meses	€/mes	0,00 €	3,0 Meses		€/mes	
	Medios auxiliares extras	3 Meses	€/mes	0,00 €	3,0 Meses		€/mes	
	Franquicia robo cables	10 Meses	€/mes	0,00 €	10,0 Meses		€/mes	
	...	1		0,00 €	1,0			
	...	1		0,00 €	1,0			
	...	1		0,00 €	1,0			
<b>TOTAL RIESGOS</b>				0,00 €				0,00 €
<b>TOTAL GENERAL</b>				0,00 €				0,00 €

Figura 4.5: Caso de estudio: tabla de gastos

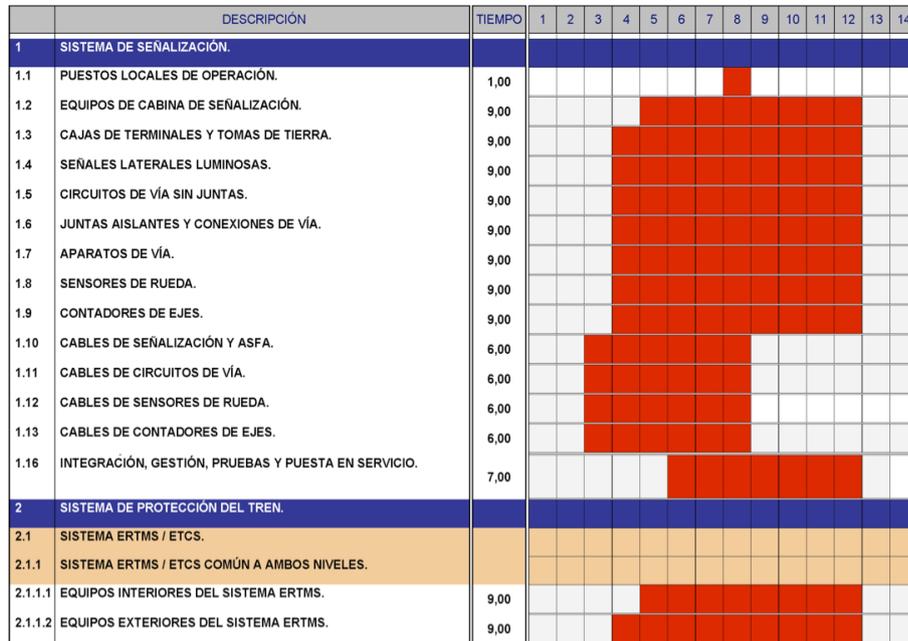


Figura 4.6: Caso de estudio: diagrama de Gantt de tareas resumen

### 4.5.2. Diagrama de Gantt de tareas resumen

El plan de obra con las diferentes tareas resumen del presupuesto de ingresos es el que se muestra en la figura 4.6.

### 4.5.3. Tabla de hitos

En la tabla de hitos se representa sobre el eje de abscisas la tira o longitud de vía con los elementos principales del proyecto. Sobre el eje de ordenadas se incluyen los hitos de las tareas críticas del proyecto junto con sus fechas de cumplimiento (figuras 4.7 a 4.9).



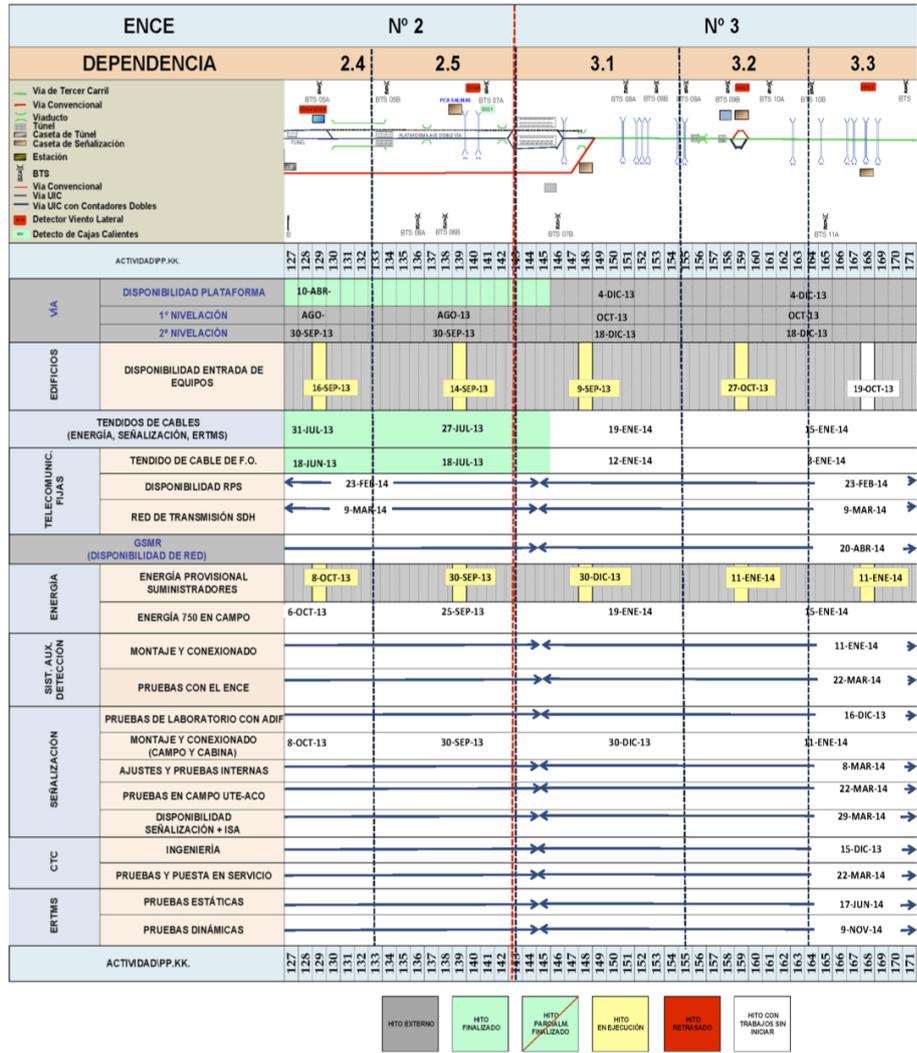


Figura 4.8: Caso de estudio: tabla de hitos de tareas resumen (viene de la figura 4.7, sigue en la figura 4.9)

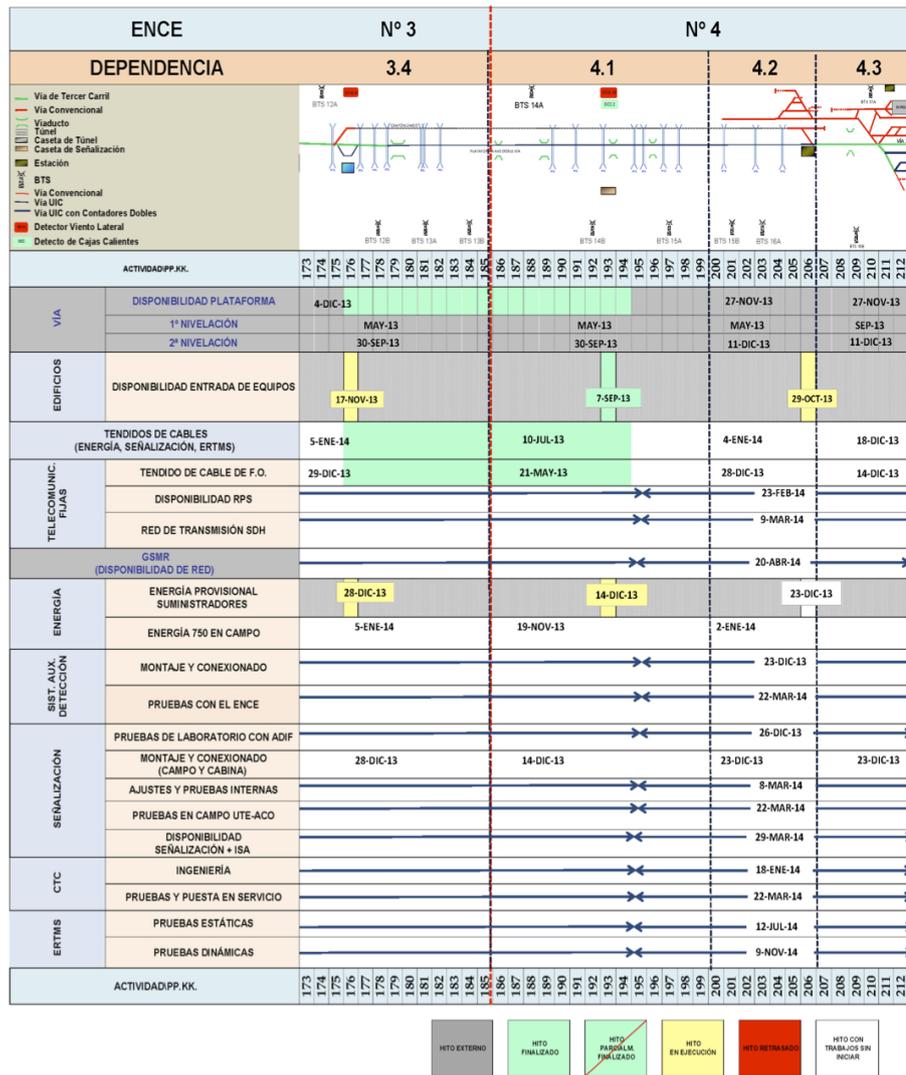


Figura 4.9: Caso de estudio: tabla de hitos de tareas resumen (viene de la figura 4.8)

#### 4.5.4. Documento de seguimiento

El documento de seguimiento integra la tabla de hitos, la planificación — el Gantt de tareas resumen — y el presupuesto (figuras 4.10 a 4.11).

Para representar cada hito en el documento de seguimiento, se utiliza la fecha de comienzo de la actividad. La duración de cada hito se determina mediante:

1. Cálculo de la fecha de comienzo de la actividad,  $T_{inicio}$ : Se determina a partir de la tabla de hitos, ya que para su inicio deben haberse superado las fechas de sus tareas predecesoras.
2. Fecha final de la actividad,  $T_{fin}$ : Se toma de la tabla de hitos la primera de las fechas de sus tareas dependientes.
3. Tiempo,  $T$ , que los trabajos de cada actividad deben utilizar para su ejecución a fin de que no bloqueen el avance normal del proyecto. Es la diferencia entre las fecha de fin y de comienzo:  $T = T_{fin} - T_{inicio}$ .

En el momento que una fecha es modificada en la tabla de hitos, automáticamente se modifica la planificación en el documento de seguimiento.

La manera de integrar los ingresos presupuestados en nuestra planificación consiste en asignar un valor económico mensual a cada tarea. Este valor se obtiene dividiendo el importe total presupuestado para esa unidad de trabajo entre el número de meses en el está previsto realizarla. Una vez que se han asignado los valores mensuales a todas y cada una de las tareas, se obtiene el importe total de ingresos presupuestados para un mes determinado como la

suma de los correspondientes a cada tarea en ese mes. En la práctica, se calcula como la suma de todos los elementos de la columna de la hoja de cálculo que corresponde al mes en cuestión.

El documento de seguimiento incluye también la información de los ingresos totales reales en cada uno de los meses, de acuerdo con las certificaciones de obra ejecutada, para poder compararlos de forma visual con los previstos.

#### 4.6. Fuentes de información

En este proyecto, las fuentes de información son las que aparecen reflejadas en la sección 3.6: los supervisores de cada uno de los subproyectos y los organismos de control autorizados (OCAs).

#### 4.7. Índices de rendimiento

Para calcular los índices de rendimiento es necesario asignar factores de ponderación a las fuentes de información, lo que se hace con base a la experiencia del gestor del proyecto. En nuestro caso se ha utilizado un peso igual a 0.6 para la información recibida de los supervisores de los subproyectos, y el valor 0.4 para la procedente de los organismos de control autorizados.

La aplicación informática calcula, en cada punto de control, los valores de los índices de rendimiento ( $SPI_{estimado}$ ,  $CPI_{PV}$  y  $CR_{estimado}$ ) y los muestra en un documento que permite observar cómo evolucionan a lo largo del tiempo que dura el proyecto (figuras 4.12 a 4.14).

DESCRIPCIÓN	Importe Proyecto Constructivo	MÁX. Nº EQUIPOS	TIEMPO	MES													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN.</b>																	
EQUIPOS DE CABINA DE SEÑALIZACIÓN.			9,00														
CAJAS DE TERMINALES Y TOMAS DE TIERRA.			9,00														
SEÑALES LATERALES LUMINOSAS.			9,00														
CIRCUITOS DE VÍA SIN JUNTAS.			9,00														
JUNTAS AISLANTES Y CONEXIONES DE VÍA.			9,00														
APARATOS DE VÍA.			9,00														
SENSORES DE RUEDA.			9,00														
CONTADORES DE EJES.			9,00														
CABLES DE SEÑALIZACIÓN Y ASFA.			6,00														
CABLES DE CIRCUITOS DE VÍA.			6,00														
CABLES DE SENSORES DE RUEDA.			6,00														
CABLES DE CONTADORES DE EJES.			6,00														
INTEGRACIÓN, GESTIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO.			7,00														
<b>SISTEMA DE PROTECCIÓN DEL TREN.</b>																	
<b>SISTEMA ERTMS / ETCS.</b>																	
SISTEMA ERTMS / ETCS COMÚN A AMBOS NIVELES.																	
EQUIPOS INTERIORES DEL SISTEMA ERTMS.			9,00														
EQUIPOS EXTERIORES DEL SISTEMA ERTMS.			9,00														
SISTEMA ERTMS / ETCS DE NIVEL 1.																	
EQUIPOS INTERIORES DEL SISTEMA ERTMS DE NIVEL 1.			9,00														
EQUIPOS EXTERIORES DEL SISTEMA ERTMS DE NIVEL 1.			9,00														
CABLEADO DE ERTMS / ETCS.			6,00														
SISTEMA ERTMS / ETCS DE NIVEL 2.			11,00														
INGENIERÍA.			13,00														
SISTEMA ASFA.			11,00														
INTEGRACIÓN, GESTIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO.			7,00														
<b>COMUNICACIONES.</b>																	
RED DE TRANSPORTE SDH			9,00														
RED DE ACCESO SDH			9,00														
RED DE ACCESO DE DATOS			9,00														
RED DE DATOS DE EXPLOTACIÓN			9,00														
RED PRIVADA SEÑALIZACIÓN			9,00														
REPARTIDORES DE FO			5,00														
TENDIDO DE FIBRA			6,00														
SEGREGACIONES DE FIBRA			6,00														

Figura 4.10: Caso de estudio: documento de seguimiento (continua en la figura 4.11)

DESCRIPCIÓN	Importe Proyecto Constructivo	MÁX. Nº EQUIPOS	TIEMPO	MES													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
CABLEADO ESTRUCTURADO			9,00														
SISTEMAS AUXILIARES DE DETECCIÓN.																	
DETECTORES DE CAJAS CALIENTES.			9,00														
DETECTORES DE VIENTO LATERAL.			9,00														
DETECTORES DE COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL PANTÓGRAFO.			9,00														
CONCENTRADOR DE DETECTORES.			9,00														
INTEGRACIÓN, GESTIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO.			7,00														
CTC.																	
INGENIERÍA SOFTWARE.			6,00														
INTEGRACIÓN, GESTIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO.			7,00														
EDIFICIOS Y CASETAS TÉCNICAS.																	
MOVIMIENTO DE TIERRAS.			6,00														
DRENAJE.			6,00														
CIMENTACIÓN Y ESTRUCTURA.			5,00														
ARQUITECTURA.			5,00														
CERRAJERÍA Y CARPINTERÍA.			5,00														
SISTEMA DE ENERGÍA.																	
SUMINISTRO Y MONTAJE DE EQUIPOS.			11,00														
CABLES.			6,00														
INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS.			5,00														
INTEGRACIÓN, GESTIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO.			7,00														
INGRESOS REALES	MES																
	A ORIGEN																
INGRESOS PREVISTOS	MES																
	A ORIGEN																

Figura 4.11: Caso de estudio: documento de seguimiento (viene de la figura 4.10)

ESTIMADORES							
	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7
PC_es	1,18%	3,48%	10,95%	20,18%	33,55%	40,72%	46,15%
PP	1,20%	3,54%	11,33%	20,73%	32,87%	45,08%	55,40%
AC	1,38%	4,27%	13,95%	27,37%	32,74%	43,56%	54,07%
PV	1,22%	3,57%	11,78%	20,99%	32,74%	44,52%	55,68%
	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14
PC_es	51,45%	62,43%	75,01%	88,15%	98,07%	98,96%	100,00%
PP	65,18%	74,02%	83,36%	92,52%	99,31%	99,83%	100,00%
AC	63,48%	72,04%	80,49%	90,23%	98,29%	98,70%	100,42%
PV	65,46%	73,71%	80,98%	90,63%	98,82%	99,58%	100,00%

Figura 4.12: Caso de estudio: tabla de estimadores

ÍNDICES DE RENDIMIENTO							
	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7
SPI_es=PC_es/PP	0,98	0,98	0,97	0,97	1,02	0,90	0,83
CPI_PV=PV/AC	0,88	0,84	0,84	0,77	1,00	1,02	1,03
CR_es=CPI_PV*SPI_es	0,86	0,82	0,82	0,75	1,02	0,92	0,86
	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14
SPI_es=PC_es/PP	0,79	0,84	0,90	0,95	0,99	0,99	1,00
CPI_PV=PV/AC	1,03	1,02	1,01	1,00	1,01	1,01	1,00
CR_es=CPI_PV*SPI_es	0,81	0,86	0,91	0,96	0,99	1,00	1,00

Figura 4.13: Caso de estudio: tabla de índices de rendimiento

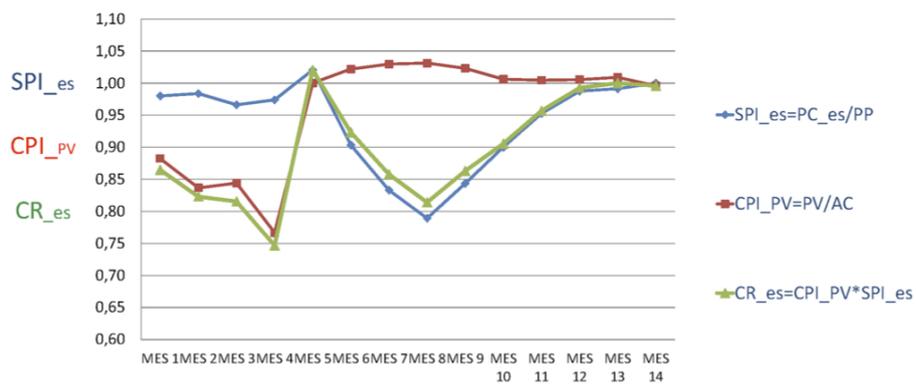


Figura 4.14: Caso de estudio: gráfico resumen de avance de obra

## 4.8. Toma de decisiones de gestión

### 4.8.1. Frecuencia de análisis del estado del proyecto

De acuerdo con las formas y procedimientos de la organización encargada de la ejecución del proyecto, es decir, de la UTE, y considerando que las certificaciones de trabajos realizados se emitían mensualmente, el análisis del estado del proyecto se hizo coincidir con los momentos en que se recibían las certificaciones.

### 4.8.2. Acciones correctoras

En cada punto de control se analizaron los índices de rendimiento utilizando el valor 0.8 para el umbral de confianza descrito en la sección 3.8.2. Cuando el valor  $CR_{estimado}$  resultaba inferior a dicho umbral, se consideraba que era necesario introducir acciones correctoras sobre la planificación.

Como se observa en las figuras 4.13 y 4.14, hubo dos puntos de control en los que los índices de rendimiento quedaron por debajo del umbral.

En el cuarto mes, el valor del  $CR_{eS}$  alcanzó un valor de 0.75 y se observó que el bajo rendimiento del estimador de costes ( $CPI_{PV} = 0,77$ ) fue el causante del descenso del ratio crítico por debajo del umbral de confianza, por lo que nos encontrábamos en el escenario 2 de los tres posibles. En este caso, la dirección del proyecto decidió aumentar el rendimiento económico a costa de empeorar el rendimiento de avance de los trabajos. Para ello se estudiaron los trabajos a realizar en los meses posteriores y, tras este análisis, se decidió reducir el número de equipos de trabajo que se iban a utilizar en los trabajos de montaje

de elementos de campo y cabina, argumentando que habría tiempo suficiente para tomar decisiones correctivas en el supuesto de que se observara un peligro real de incumplimiento de plazos, como así ocurrió en el octavo mes. En los meses siguientes se observó el efecto de la acción correctora en el aumento del rendimiento de los costes, mayores que el valor umbral, pero acompañado de un descenso en los rendimientos de avance de obra, hasta que en el mes 8 el valor del  $SPI_{es}$  descendió por debajo del umbral de confianza. En ese punto de control, el estado del proyecto correspondía al escenario 1. Como la evolución temporal indicaba un acusado descenso del  $SPI_{es}$ , y de forma continuada, la dirección decidió atajar el problema aumentando en los meses siguientes el número de equipos de trabajo, así como la jornada de trabajo (mediante horas extraordinarias, trabajo en fines de semana y en días festivos).

#### 4.9. Conclusiones del caso de estudio

Mediante la implementación del modelo se consiguió disponer de una información fiable del estado del avance del proyecto en todo momento, reduciendo el estado de incertidumbre con el que se trabajaba en los proyectos anteriores. De haberse aplicado modelos anteriores en nuestro proyecto se habría trabajado con una planificación obsoleta a partir del cuarto mes. Esto vendría motivado por el hecho de no disponer del tiempo necesario (varios meses) para generar una nueva planificación fiable. Esa desinformación daría origen a que desde la dirección se transmitieran órdenes de trabajo poco precisas, originando, muy probablemente, un desajuste continuo de los rendimientos tanto

económicos como de tiempos, que arrastrarían hacia un incumplimiento de los objetivos inicialmente pactados.



# Capítulo 5

## Conclusiones y trabajo futuro

### 5.1. Conclusiones

Las principales conclusiones que se derivan del desarrollo de esta tesis son:

- Se ha propuesto una modificación y adaptación de la metodología del valor ganado a los proyectos de instalaciones ferroviarias de alta velocidad.
- El método EVM modificado es suficientemente flexible para resolver satisfactoriamente escenarios para los que inicialmente no está indicado, como es el caso de las instalaciones ferroviarias de alta velocidad, donde se sufren los condicionantes de obras desplegadas a lo largo de una longitud de vía que impide la recogida de datos cumpliendo los requisitos del método original.
- Se ha diseñado un conjunto de indicadores de rendimiento que permite

estimar el estado de la obra en un contexto de incertidumbre.

- La metodología propuesta se ha validado a través de su aplicación con éxito durante el desarrollo de un proyecto real de instalaciones ferroviarias de Alta Velocidad Española. El método resuelve satisfactoriamente las necesidades de los gestores en cuanto se refiere a monitorizar y controlar el proyecto, potenciando la seguridad en la toma de decisiones frente a la incertidumbre que la aplicación de técnicas tradicionales planteaba.

## **5.2. Trabajo futuro**

Como continuación al trabajo de investigación desarrollado, se han identificado las siguientes posibilidades:

- Desarrollar un sistema de recogida de información que permita validar y recalibrar los parámetros de ponderación de la confianza de las fuentes.
- Extender la metodología para adaptarla a otros tipos de proyectos complejos, en los que también resulte impracticable la aplicación de la técnica EVM.
- Desarrollar un sistema inteligente basado en el método propuesto que facilite la toma de decisiones de los gestores de proyectos.

# Referencias

- [1] Prediction of project outcome: The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes. *International Journal of Project Management*, 27(4):400 – 407, 2009.
- [2] Frank T. Anbari. An operating management control system for large-scale projects. In *American Institute for Decision Sciences, Ninth Annual Meeting, Northeast Regional Conference*, 1980.
- [3] Frank T. Anbari. Applications and extensions to the earned value analysis method. In *Proceedings of the Project Management Institute 2001 Seminars & Symposium*, 2001.
- [4] Frank T. Anbari. Earned value project management method and extensions. *Project Management Journal*, 34(4):12–23, 2003.
- [5] Zeev Barr. Earned value analysis: a case study. *PM network*, 10:31–37, 1996.

- 
- [6] Garry Booker. Management work system and method, Patent, 2005, US20050222881A1.
- [7] Manuel Castejón Limas. Dirección de proyectos (no publicado). 2010.
- [8] Hong Long Chen, Wei Tong Chen, and Ying Lien Lin. Earned value project management: Improving the predictive power of planned value. *International Journal of Project Management*, 2015.
- [9] David S Christensen. Using performance indices to evaluate the estimate at completion. *The Journal of Cost Analysis*, 11(1):17–23, 1994.
- [10] Denis Felix Cioffi. *Managing project integration*. Management Concepts Inc., 2002.
- [11] David I Cleland and William Richard King. *Project management handbook*, volume 2. Wiley Online Library, 1988.
- [12] Patricia Donayre Cueto, Liliana Malásquez González, et al. Aplicación de los estándares de la guía del pmbok en un proyecto de construcción de hospitales en lima para una entidad del estado. 2015.
- [13] Raafat Elshaer. Impact of sensitivity information on the prediction of project's duration using earned schedule method. *International Journal of Project Management*, 31(4):579–588, 2013.
- [14] Foad Farid and Saeed Karshenas. Cost/schedule control systems criteria under inflation. Project Management Institute, 1988.

- 
- [15] Q Fleming and J Koppelman. The two most useful earned value metrics: the cpi and the tcpi. *Cost Engineering*, 51(3):22–25, 2009.
- [16] Quentin W Fleming and Joel M Koppelman. *Earned value project management*. Project Mangement Institute, 2000.
- [17] Darlene M. Freeman, Mark Halverson, Stacy Lewis, and Bronwyn Fiely-Fisher. Project management for complex construction projects by monitoring subcontractors in real time, Patent, 2006, US7031930B2.
- [18] Jack Gido and James Clements. *Successful project management*. Cengage Learning, 2014.
- [19] A Guide. Project management body of knowledge (pmbok® guide). In *Project Management Institute*, 2001.
- [20] Awad S Hanna. Using the earned value management system to improve electrical project control. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(3):449–457, 2012.
- [21] Kurt Heinze. *Cost management of capital projects*, volume 27. Courier Corporation, 1996.
- [22] Maxine Hersch. Benefit-based earned value management system, Patent, 2012, US20120253876A1.
- [23] R. Howes. Improving the performance of earned value analysis as a construction project management tool. *Engineering Construction and Architectural Management*, 7:399–411, 2000.

- [24] Jr. James E. Kelley. Critical-path planning and scheduling: Mathematical basis. *Operations Research*, 9(3):296–320, 1961.
- [25] ByungGyoo Kang, Junzhe Lv, and Cheng Zhang. An investigation into practice of earned value management (evm) for the construction industry in jiangsu province, china. 2015.
- [26] Harold R Kerzner. *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. John Wiley & Sons, 2013.
- [27] Mohd Faris Khamidi, Waris Ali, and Arazi Idrus. Application of earned value management system on an infrastructure project: A malaysian case study. In *International Conference on Management and Service Science, Singapore*, 2011.
- [28] EunHong Kim. *A study on the effective implementation of earned value management methodology*. PhD thesis, The George Washington University, 2000.
- [29] Michael E Kuhl and Maribel K Perez Graciano. Project planning and predictive earned value analysis via simulation. In *Simulation Conference (WSC), 2014 Winter*, pages 3377–3387. IEEE, 2014.
- [30] James P. Lewis. *Project Planning, Scheduling, and Control: The Ultimate Hands-On Guide to Bringing Projects in On Time and On Budget*. Mc Graw Hill, 2010.
- [31] JR Meredith and S Mantel. J.,(2000) project management a managerial approach.

- [32] Mohd Nasira, Siti Rashidah, Abd Majid, and Muhd Zaimi. Project cost performance forecasting system. 2006.
- [33] Michael Oliver. System and method for project management and assessment, Patent, 2002, US20020077877A1.
- [34] Carlos J. Jerí De Pinho. Valor ganado – programación ganada. <http://goo.gl/gKep8s>, 2009. Online (acceso el 19.06.2015).
- [35] DS Rajendra Prasad and MN Shivakumar. Project management processes and tools & techniques-a foundation for project's success. 2011.
- [36] Manikandan Ramasamy. Method and system for assessing the progress of a project in terms of its schedule, Patent, 2013, US8452634B2.
- [37] Batani Raghavendra Rao and N Ramachandran. Significance of earned value management (evm) in construction industry. *Asia Pacific Journal of Research Vol: 1 Issue XII*, 2014.
- [38] Kenneth Salwitz, Edwin Lee, Kevin E. Kane, Jay Wilson, Glenn Crowe, Phillipus Loots, Franz Hero, Theresa Rajczi, and Phillip Leisey-Bartsch. Earned value application, Patent, 2004, US20040068419A1.
- [39] Debasis Sarkar and Goutam Dutta. A framework of project risk management for the underground corridor construction of metro rail. *IIM Ahmedabad, WP*, (2011–02):05, 2011.

- [40] Kyuman Song. System and method for visually representing project metrics on 3-dimensional building models, Patent, 2006, US20060044307A1.
- [41] Stephan Vandevoorde and Mario Vanhoucke. A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics. *International journal of project management*, 24(4):289–302, 2006.
- [42] Mario Vanhoucke. *Measuring time: Improving project performance using earned value management*, volume 136. Springer Science & Business Media, 2009.
- [43] Mario Vanhoucke. *Integrated Project Management and Control: First comes the theory, then the practice*. Springer, 2014.
- [44] Rajesh Ganpat Virle and Sumedh Y Mhaske. Monitoring of construction projects using evm and esm tools. 2013.
- [45] JS Webster. Meaningful metrics. *Project Management Network*, Nov, pages 35–39, 2002.
- [46] Diana White and Joyce Fortune. Current practice in project management—an empirical study. *International journal of project management*, 20(1):1–11, 2002.
- [47] Qi-bin Zheng and Xing Bi. Optimization on earned value method combined with critical path. In Ershi Qi, Jiang Shen, and Runliang Dou, editors, *Proceedings of 2013 4th International Asia Conference on Indus-*

*trial Engineering and Management Innovation (IEMI2013)*, pages 707–715. Springer Berlin Heidelberg, 2014.

[48] Dave Zubrow. *Earned value management (evm): Basic concepts*, 2002.